

## University of Groningen

### Metingen van geluid en wind bij windpark Hoofdplaatpolder van den Berg, G.P.

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*  
2007

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*  
van den Berg, G. P. (2007). *Metingen van geluid en wind bij windpark Hoofdplaatpolder*. s.n.

#### **Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

#### **Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.*

RUG

$\Psi$   $\vec{E}$   $t'$   $\&$   $N_2$   
 $\$$   $\odot$   $\mathcal{H}$   $\triangle$   $\%$   $\Sigma$   
 $\omega$   $\perp$   $\mathfrak{N}$   $|k|$   $\ddot{e}$   $\angle$   $\S$

# Metingen van geluid en wind bij windpark Hoofdplaatpolder





# METINGEN VAN GELUID EN WIND

## BIJ WINDPARK HOOFDPLAATPOLDER

G.P. van den Berg

Datum: november 2007  
Uitgavenummer: NWU-122  
Aantal blz: 49 + 14 (bijlagen)

**Natuurkundewinkel**

Rijksuniversiteit Groningen

Nijenborgh 4

9747 AG Groningen

wewi-fwn@rug.nl

*De Natuurkundewinkel stelde, tot juli 2007,*

*natuurkundige kennis en vaardigheid*

*beschikbaar aan niet-commerciële*

*groepen en organisaties, en overheden*

*door het verlenen van advies en*

*het uitvoeren van onderzoek*



## SAMENVATTING

In 2004 zijn er in de Hoofdplaatpolder in Zeeuws Vlaanderen vijf windturbines geplaatst. Na ingebruikname van de windturbines zijn er bij de gemeente Sluis klachten binnengekomen van omwonenden van het windpark over geluidsoverlast. Daarop werd door de gemeente opdracht gegeven tot een onderzoek van het geluid. Volgens dat onderzoek zou de geluidsoverlast aan de gestelde grenswaarden voldoen. De omwonenden van het windpark hebben deze conclusie verworpen en hebben de Natuurkundewinkel gevraagd om een onafhankelijk onderzoek naar het geluid te doen.

Uit recente onderzoeken en vele meldingen is gebleken dat geluidsoverlast van windturbines zich vooral voordoet bij een stabiele atmosfeer. Een stabiele atmosfeer ontstaat vaak rond zonsondergang en is 's avonds en 's nacht tijdens onbewolkte dagen een normaal verschijnsel. Door de afkoeling van de aarde verdwijnt de turbulentie en daarmee de verticale luchtbeweging die overdag aanwezig is en de verschillende luchtlagen aan elkaar koppelt. Als gevolg daarvan worden de verschillen in windsnelheid tussen de luchtlagen groter. Hierdoor gaat het aan de grond zachter waaien, maar in de hogere luchtlagen waar de wieken van de turbines zich bevinden juist harder. Uit door het KNMI gemeten windsnelheden bij de plaatsen Cadzand, Vlissingen en Hoofdplaat blijkt dat een stabiele atmosfeer vooral in de lente en zomer voorkomt als de wind vanaf land komt. Bij wind vanaf zee of over de Westerschelde komt stabiliteit minder voor. In het kader van dit onderzoek verrichte metingen laten zien dat de meetperiode niet duidelijk afwijkt van wat klimatologisch verwacht wordt.

Om de windsnelheden te meten en het effect van de weersomstandigheden op de turbines te kunnen bestuderen is er in april 2006 in samenwerking met bewoners van de Hoofdplaatpolder een mast met meetapparatuur bij het windpark geplaatst. Uit de windsnelheidsmetingen op 10 en 28 m hoogte kan de windsnelheid op ashoogte van de turbines worden bepaald. Daaruit kan direct de productie van de windturbine, zowel wat energie als geluid betreft, worden afgeleid. Met behulp van de gevonden geluidsproductie kan vervolgens de geluidimmissie bij omwonenden worden berekend. Het blijkt dat in een stabiele atmosfeer de windturbines ook bij zwakke wind nabij de grond al op maximaal toerental en dus met vrijwel maximale geluidsproductie kunnen draaien -op ashoogte is de windsnelheid dan juist wel hoog.

Bij zwakke wind nabij de grond overschrijdt het beoordelingsniveau de gestelde grenswaarden voor het geluidsniveau bij meerdere woningen. Naar het karakter van het geluid is geen onderzoek gedaan, maar het is te verwachten dat het voor moderne, hoge windturbines typische nachtelijke 'stampen' bijdraagt aan de hinder. Als het geluid als een impulsachtig ('stampend') geluid zou worden gekenmerkt, dan moet een impulstoeslag worden toegepast en treedt een overschrijding van de grenswaarden bij meer woningen op.



## INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
.1	Voorgeschiedenis	6
.2	Opbouw rapport	6
.3	Bijdragen	7
<b>2</b>	<b>Atmosferische stabiliteit en wind</b>	<b>8</b>
.1	Atmosferische stabiliteit	8
.2	Windsnelheid op ashoogte	12
.3	Het regionale windklimaat	13
.1	Meetlocaties	13
.2	Windsnelheid per kompasrichting	13
.3	Windsnelheid per seizoen	15
.4	Correlatie tussen meetstations	16
.5	Mate van vóórkomen van stabiliteitsklassen	17
<b>3</b>	<b>Metingen Hoofdplaatpolder</b>	<b>18</b>
.1	Opstelling en locatie	18
.2	Meetperiode	19
.3	Verloop temperatuur en windsnelheid	20
.4	Gemeten geluidsniveaus	23
<b>4</b>	<b>Uitgangspunten bij de bepaling van de geluidsbelasting</b>	<b>25</b>
.1	Voornaamste oorzaak van windturbinegeluid	25
.2	Geluidsproductie van Vestas V80 windturbines	26
.1	Samenhang met windsnelheid	26
.2	Bronsterkte	27
.3	Bronvermogen en windsnelheid op 10 m hoogte	29
.3	Geluidsbelasting op woningen	30
.1	Beoordeling volgens regelgeving	30
.2	Meting geluidsniveau	33
<b>5</b>	<b>Door meting bepaalde geluidsbelasting</b>	<b>34</b>
.1	Uitgangspunten berekening geluidimmissie	34
.2	Bronsterkte bepaald uit gemeten windsnelheid	34
.3	Immissieniveau bepaald uit gemeten windsnelheid	36
.4	Vergelijking meting en berekening	40
.1	Resultaten van metingen bij meetmast	40
.2	Resultaten metingen SPA	42
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>44</b>
	<b>Referenties</b>	<b>49</b>
	<b>Bijlagen</b>	
1	Meetapparatuur	B 2
2	Pasquill klassen	B 5
3	Oorspronkelijk onderzoeksvoorstel	B 7
4	Berekening windprofiel	B13



# 1 INLEIDING

## 1.1 Voorgeschiedenis

In 2004 is WEOM, in samenwerking met twee particuliere ondernemers, begonnen met de bouw en exploitatie van vijf windturbines in de Hoofdplaatpolder in Zeeland. Deze windturbine's hebben een ashoogte van 78 meter, een tiphoogte van 120 meter en een vermogen van 2 MW. Na ingebruikname van de windturbines zijn er bij de gemeente Sluis klachten binnengekomen van omwonenden van het windpark over geluidsoverlast, en is de "Stichting Actiegroep Windturbines Hoofdplaatpolder" opgericht.

Als reactie op deze klachten heeft de gemeente Sluis onderzoek laten doen naar het geluid van de windturbines door Schoonderbeek en Partners Advies (SPA). De conclusie daarvan was dat de geluidsbelasting binnen de daarvoor gestelde richtlijnen bleef.

De actiegroep heeft de uitkomst van het onderzoek om verschillende redenen afgewezen en meende dat het onderzoek er vooral op gericht was om te voorkomen dat een te hoge geluidsbelasting erkend zou worden. De groep heeft daarop de Natuurkundewinkel (NW) van de Rijksuniversiteit Groningen gevraagd om onderzoek te doen naar het windturbinegeluid vanwege haar expertise op dit terrein. De NW hoopte dat WEOM daaraan mee zou willen werken door data te leveren en heeft een onderzoeksvoorstel geschreven dat op 8 november 2005 aan WEOM en de gemeente is voorgelegd. De gemeente liet de NW op 22 november weten dat "Voor de gemeente geldt: Voldoen de molens wel of niet uitgaande van het protocol zoals dat vermeld is in de AmvB. Alles staat of valt met de medewerking van de WEOM. Overleg is dus gewenst." Merkwaardig is dat op dezelfde dag de gemeente aan SPA opdracht gaf voor onderzoek, dus ongeacht enig overleg (dat, althans met de NW, nooit heeft plaatsgevonden). WEOM reageerde op 2 december op ons voorstel en weigerde medewerking aan het onderzoek. De argumenten daarvoor zijn opgenomen in bijlage 3 van dit rapport, waarin tegelijk het voorstel zelf is weergegeven. Uit de tekst kan men concluderen dat de argumenten gezocht zijn. Er werden bovendien geen suggesties gedaan het voorstel zodanig te wijzigen dat WEOM er wel akkoord mee kan gaan. De conclusie ligt voor de hand dat WEOM geen onderzoek wilde, misschien omdat te onafhankelijk onderzoek niet wenselijk werd geacht.

Doordat van het windpark geen data beschikbaar werden gesteld, moesten de data zelf worden gewonnen door metingen. Daartoe werd in april 2006 meetapparatuur geplaatst in de Hoofdplaatpolder die daar, met enige onderbrekingen, tot december 2006 meetwaarden heeft verzameld (de apparatuur heeft daarna nog gefunctioneerd tot in mei 2007, maar de latere data zijn niet in dit rapport opgenomen). De bedoeling van het langdurig meten was dat daardoor ook seizoensvariaties konden worden onderzocht.

## 1.2 Opbouw rapport

In hoofdstuk 2 wordt informatie gegeven over het gedrag van de wind in samenhang met de stabiliteit van de atmosfeer. Dit gedrag is cruciaal om te begrijpen waarom windturbines na

zonsondergang meer en vervelender geluid maken dan overdag. Vervolgens wordt het gedrag van de wind in de omgeving van Hoofdplaatpolder beschreven aan de hand van data van regionale KNMI-weerstations.

Daarna wordt in hoofdstuk 3 beschreven wat de resultaten zijn van de langdurige metingen in Hoofdplaatpolder. Eerst wordt gekeken naar het gedrag van wind en temperatuur, daarna worden de resultaten gegeven van geluidsmetingen.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de geluidsproductie van windturbines behandeld: eerst in het algemeen, daarna specifiek voor de windturbines in Hoofdplaatpolder. Daarmee kan de geluidimmissie op punten in de omgeving bepaald worden op de in Nederland gebruikelijke manier: door berekening volgens de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai, op basis van de geluidsbronsterkte van de turbines en de afstanden tot omwonenden of andere geluidgevoelige locaties. Er wordt echter, in tegenstelling tot wat gebruikelijk is, uitgegaan van reëel windgedrag en niet van alleen een neutrale atmosfeer. Als laatste wordt in dit hoofdstuk nog ingegaan op de metingen uitgevoerd door SPA.

Tenslotte wordt in hoofdstuk 5 een overzicht gegeven van het voorafgaande en kan worden geconcludeerd wat volgens de beste inzichten en de vigerende regelgeving de geluidsbelasting is rond het windpark Hoofdplaatpolder.

### **1.3 Bijdragen**

Een deel van de tekst in dit rapport is overgenomen van het stageverslag van Christiaan Kroese van de Hanzehogeschool te Groningen. Hij heeft tijdens zijn stage van februari tot juli 2006 de metingen verzorgd en van de eerste resultaten daarvan verslag gedaan. Die resultaten zijn hier niet meer gebruikt, wel zijn onderzoek van het windklimaat in Zeeuws Vlaanderen en de beschrijving van het meetsysteem. De beschrijving van het verschijnsel atmosferische stabiliteit is ontleend aan eerdere publicaties van de auteur van dit rapport. Bij de genoemde bijdragen is in de tekst de herkomst steeds aangegeven.

## 2 ATMOSFERISCHE STABILITEIT EN WIND

### 2.1 Atmosferische stabiliteit<sup>1</sup>

In een neutrale atmosfeer neemt de temperatuur op een karakteristieke manier af met de hoogte doordat de lucht uitzet vanwege de lagere druk op toenemende hoogte en daarbij afkoelt. Ook de windsnelheid  $v_h$  neemt in een neutrale atmosfeer op een karakteristieke manier toe met de hoogte  $h$ , namelijk volgens de bekende logaritmische formule:

$$v_h = v_{\text{ref}} \cdot \log(h/z_0) / \log(h_{\text{ref}}/z_0) \quad (\text{formule 1})$$

waarin de ruwheidshoogte  $z_0$  bepaald wordt door de gemiddelde hoogte van vegetatie of bebouwing, en  $v_{\text{ref}}$  de windsnelheid is op een referentiehoogte  $h_{\text{ref}}$  (meestal is  $h_{\text{ref}}$  10 m).

De atmosfeer wordt *instabiel* als overdag de lucht nabij de grond relatief warm is door contact met het door zoninstraling verwarmde aardoppervlak: er ontstaan dan verticale luchtbewegingen. Het windprofiel –de toename van de windsnelheid met de hoogte– is dan niet gelijk aan het neutrale windprofiel, maar de afwijking is niet erg groot.

Een *stabiele* atmosfeer kent echter een duidelijk afwijkend windprofiel. De atmosfeer is stabiel als de lucht nabij de grond relatief koud is door contact met het door warmte-uitstraling afkoelende aardoppervlak 's nachts (tussen zonsondergang en zonsopgang). Dit verschijnsel is in engere zin ook wel bekend als (temperatuur-) inversie. Een stabiele atmosfeer treedt vooral op tijdens niet geheel bewolkte nachten met –aan de grond– niet teveel wind. In een stabiele atmosfeer is de turbulentie sterk verminderd met als gevolg dat luchtlagen minder sterk gekoppeld zijn. De onderste luchtlaag wordt daardoor minder meegenomen door de wind, terwijl op grotere hoogte de wind onder invloed van hoge- en lagedrukgebieden gewoon blijft doorwaaien; de toename van de windsnelheid met de hoogte moet dan dus anders verlopen. Een simpel model voor de windsnelheid  $v_h$  op hoogte  $h$  is:

$$v_h = v_{\text{ref}} \left( h/h_{\text{ref}} \right)^m \quad (\text{formule 2})$$

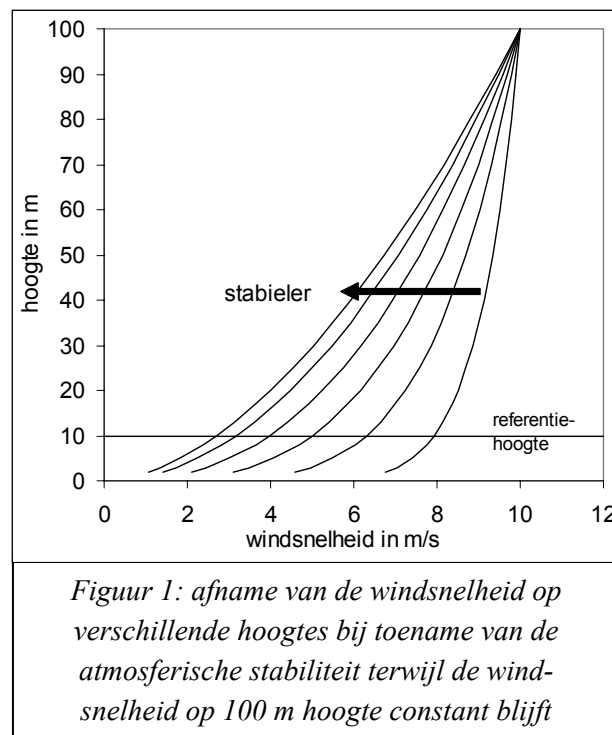
De exponent  $m$  is een maat voor de stabiliteit van de atmosfeer. Voor een instabiele atmosfeer heeft  $m$  een waarde van ca. 0,1, voor een stabiele atmosfeer is  $m$  groter dan 0,2. Deze waarden van  $m$  (zie ook tabel 1) zijn ontleend aan een Amerikaanse richtlijn voor meteorologische waarnemingen [EPA 2000]. De waarden gelden als een beste benadering voor de stabiliteit per klasse en worden aanbevolen als standaardwaarden voor landelijk (niet dicht bebouwd) gebied.

---

<sup>1</sup> de tekst in deze paragraaf is deels gebaseerd op een artikel in het blad Geluid [Van den Berg 2004]

<b>Tabel 1: stabiliteitsklassen en stabiliteitsexponent <math>m</math> [EPA 2000]</b>	
stabiliteitsklasse volgens Pasquill	$m$
A zeer instabiel	0,07
B matig instabiel	0,07
C licht instabiel	0,10
D neutraal	0,15
E licht stabiel	0,35
F matig tot zeer stabiel	0,55

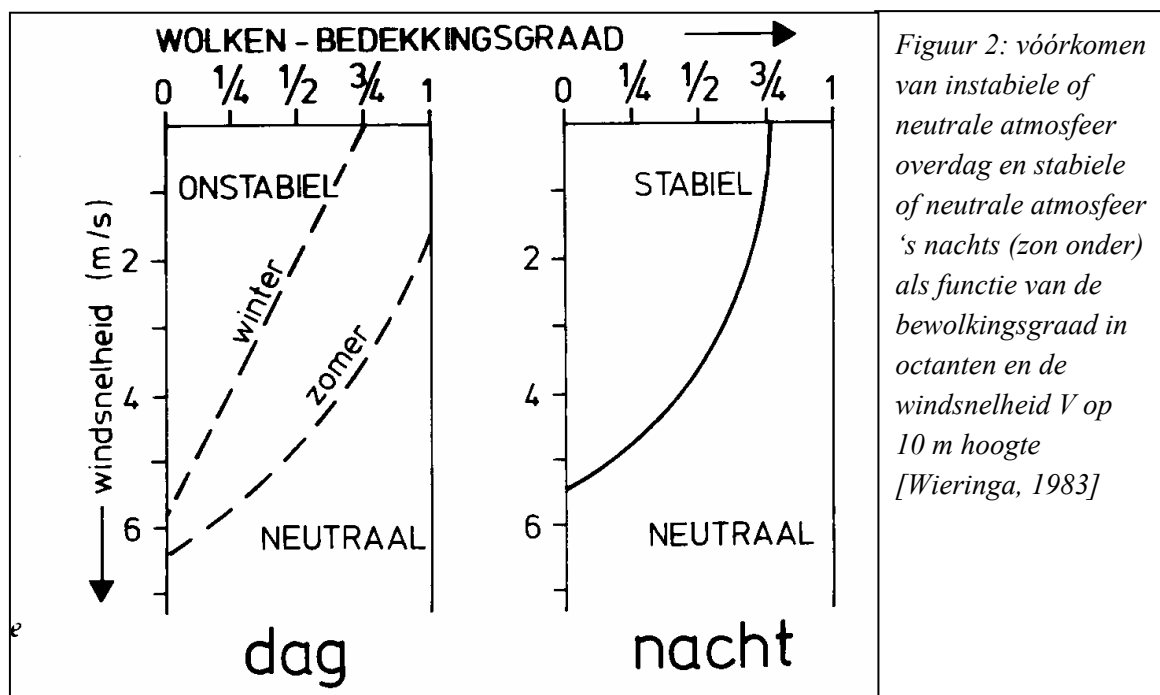
Op grote hoogte, waar de zogenoemde geostrofische wind waait, trekt de atmosfeer zich weinig aan van dag of nacht en blijft de windsnelheid relatief constant. In figuur 1 is weergegeven wat er volgens formule 2 gebeurt met windsnelheden op verschillende hoogtes als de stabiliteit van de atmosfeer toeneemt. De windsnelheid op 100 m hoogte blijft in dit voorbeeld gelijk aan 10 m/s, de stabiliteitsexponent  $m$  neemt toe van 0,1 (instabiel) tot 0,57 (zeer stabiel). De windsnelheid op referentiehoogte blijkt af te nemen van 8 naar 3 m/s, op enkele meters hoogte zelfs tot 1 m/s. We kennen dit uit ervaring: bij het vallen van de avond ‘gaat de wind liggen’. Dit geldt echter nabij de grond: op 100 m waait het nog steeds met 10 m/s en op bijv. 80 m hoogte is de windsnelheid nog altijd 9 m/s. De dagelijkse ervaring geldt dus niet voor grotere hoogten.

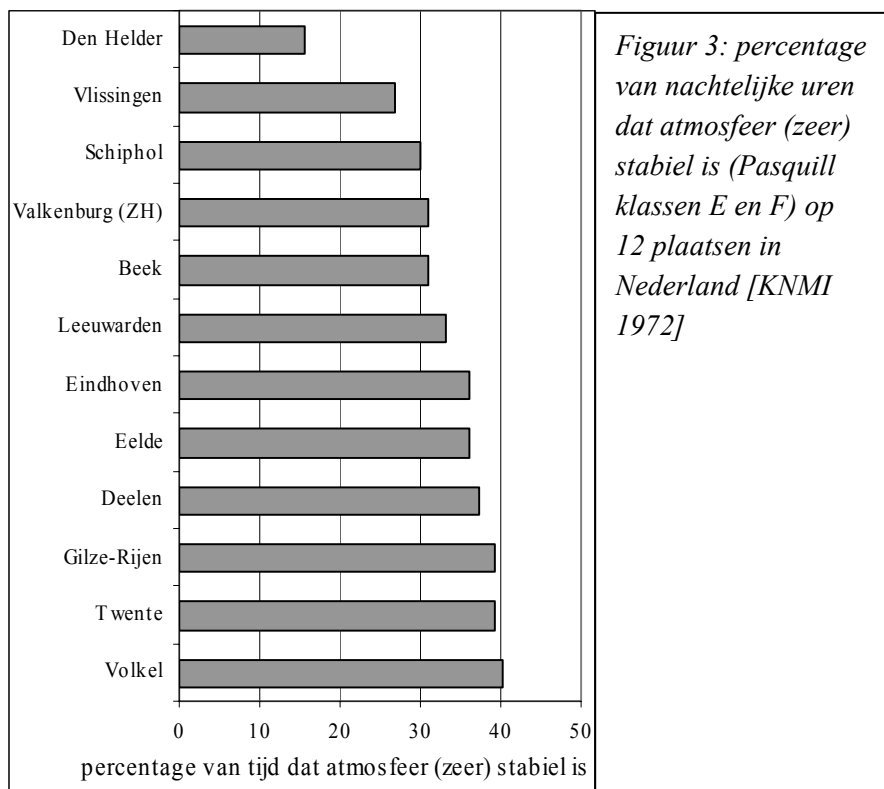


Een stabiele atmosfeer is in de gematigde streken –en dus ook in Nederland- gebruikelijk als de zon onder is. In figuur 2 is aangegeven wanneer de atmosfeer overdag instabiel en 's nachts stabiel is bij verschillende windsnelheden en bewolkingsgraden (een preciezer overzicht is gegeven in bijlage 2). Daaruit blijkt dat de atmosfeer stabiel is als de hemel voor minder dan  $3/4^e$  bewolkt is; als de windsnelheid (op 10 m hoogte) toeneemt komt stabiliteit alleen bij minder bewolking voor, en boven ca. 5,5 m/s komt stabiliteit niet meer voor.

Door de gebruikelijke opwarming van de bodem overdag en de nachtelijke afkoeling (het meest in de zomer, het minst in de winter) is er een dagelijkse gang in de atmosferische stabiliteit. Bij grote wateroppervlakken verloopt de opwarming en afkoeling van het oppervlak veel trager omdat ook het water onder het oppervlak daaraan mee doet, zodat de atmosferische stabiliteit daar veel meer een seizoensgang heeft: het oppervlak is relatief warm in herfst en winter en relatief koud in lente en zomer. Aan zee is de situatie daardoor ingewikkelder: bij landwind overheerst de dagelijkse gang, bij zeewind ontbreekt die.

In figuur 3 is het percentage van tijd gegeven dat de atmosfeer matig tot zeer stabiel is op 12 plaatsen in Nederland. Voor Hoofdplaatpolder mag worden verwacht dat het percentage niet veel zal afwijken van dat van Vlissingen. Dat wil zeggen dat verwacht wordt dat bij Hoofdplaatpolder gedurende 27% van de tijd een matig tot zeer stabiele atmosfeer wordt verwacht, waarbij de windsnelheid op grotere hoogte dus veel hoger zal zijn dan in een neutrale atmosfeer zou worden verwacht op grond van een windsnelheid op 10 m hoogte.





## 2.2 Windsnelheid op ashoogte

De windsnelheid die men op ashoogte kan verwachten bij een meer of minder bewolkte hemel kan berekend worden uit de windsnelheid op 10 m hoogte met formule 2, door voor  $m$  een waarde in te vullen in overeenstemming met de mate van stabiliteit van de atmosfeer (zie tabel 1). In tabel 2 zijn waarden gegeven voor de stabiliteitsexponent voor drie typische situaties boven land: een zonnige dag met een hooguit halfbewolkte hemel, een neutrale atmosfeer, en een hooguit half bewolkte hemel 's nachts.<sup>1</sup> Bij windsnelheden op 10 m hoogte vanaf ca. 6 m/s (12 knopen) is er nog maar weinig verschil in de windsnelheid op 80 m hoogte; alleen bij sterke verwarming (instabiele atmosfeer) blijft de snelheid wat lager dan bij neutrale omstandigheden. Bij lage windsnelheden kan het verschil echter zeer groot zijn: bij een windsnelheid van 3 m/s op 10 m hoogte is de windsnelheid op 80 m hoogte op de zomerdag slechts weinig hoger (3,5 m/s) en komt een Vestas V80 turbine net op gang, terwijl in een enigszins heldere nacht de windsnelheid op 80 m hoogte ruim 9 m/s is waarbij de turbine vrijwel op topsnelheid draait.

Een stabiele atmosfeer komt voor bij windsnelheden op 10 m tot ca. 6 m/s, een zeer stabiele atmosfeer alleen bij windsnelheden tot ca. 4 m/s. In een zeer stabiele atmosfeer kan echter de windsnelheid op ashoogte juist weer hoger worden door de sterkere windschering (overeenkomend met een hoge stabiliteitsexponent).

**Tabel 2: windsnelheden op 10 en 80 m hoogte, afhankelijk van stabiliteitsexponent  $m$**

windsnelheid op 10 m hoogte	zwak			matig			vrij krachtig	
	m/s	2	3	4	5	6	7	8
zomerdag (instabiele atmosfeer)								
stabiliteitsexponent $m$	-	0,07	0,07	0,07	0,07	0,10	0,10	0,10
windsnelheid op 80 m hoogte	m/s	2,3	3,5	4,6	5,8	7,4	8,6	9,8
bewolkt en/of lage zon (neutrale atmosfeer)								
stabiliteitsexponent $m$	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
windsnelheid op 80 m hoogte	m/s	2,7	4,1	5,5	6,8	8,2	9,6	10,9
's nachts (stabiele atmosfeer)								
stabiliteitsexponent $m$	-	0,55	0,55	0,35	0,35	0,15	0,15	0,15
windsnelheid op 80 m hoogte	m/s	6,3	9,4	8,3	10,4	8,2	9,6	10,9

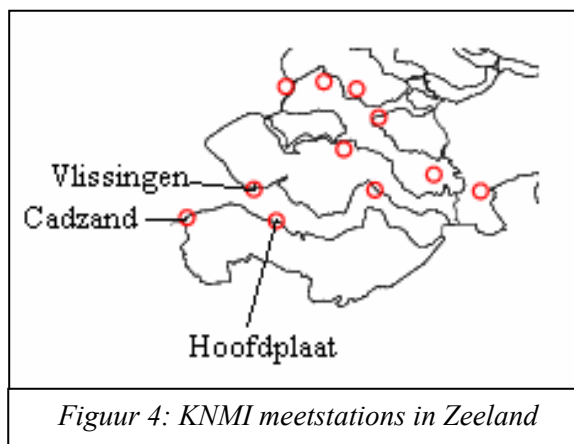
<sup>1</sup> de Pasquill klassen kunnen worden afgelezen uit de figuren in bijlage 2, de bijbehorende stabiliteitsexponenten  $m$  uit tabel 1

## 2.3 Het regionale windklimaat <sup>1</sup>

### 2.3.1 MEETLOCATIES

Om een beeld te krijgen van het windklimaat in de Hoofdplaatpolder is er gebruik gemaakt van winddata van drie verschillende KNMI meetstations. Deze meetstations zijn gevestigd in Cadzand, Vlissingen en Hoofdplaat.<sup>2</sup> Het laatste meetstation bevindt zich op een paal in de Westerschelde, 500 m ten noorden van de dijk bij Hoofdplaat. Het meetstation bij Vlissingen bevindt zich op de landtong tussen buitenhaven en Westerschelde. Het meetstation bij Cadzand bevindt zich op een meetpaal in de Noordzee, ongeveer 300 m van het strand. Alle drie stations staan dus vrijwel op de grens van land en zee.

Voor de analyse zijn meetdata uit 2002 gebruikt, omdat dit het meest recente jaar was waarvan de data voor alledrie de stations volledig beschikbaar waren. Bij de KNMI meetstations zijn de waarden gemeten op 10 meter hoogte of terugerekend naar de waarde die bij 10 m hoort. De data die op deze stations gemeten zijn bestaan uit de gemiddelde windsnelheid per uur en de gemiddelde windrichting per uur (richting in graden, waarbij 0° gelijk staat aan het noorden).



*Figuur 4: KNMI meetstations in Zeeland*

### 2.3.2 WINDSNELHEID PER KOMPASRICHTING

In figuur 5 staan de jaargemiddelde windsnelheden in 2002 afgebeeld per klokuur, met de windsnelheid in dm/s. Hierbij zijn de data op windrichting geselecteerd: 0° tot 90° (noord tot oost), 90° tot 180° (oost tot zuid), 180° tot 270° (zuid tot west) en 270° tot 360° (west tot noord).

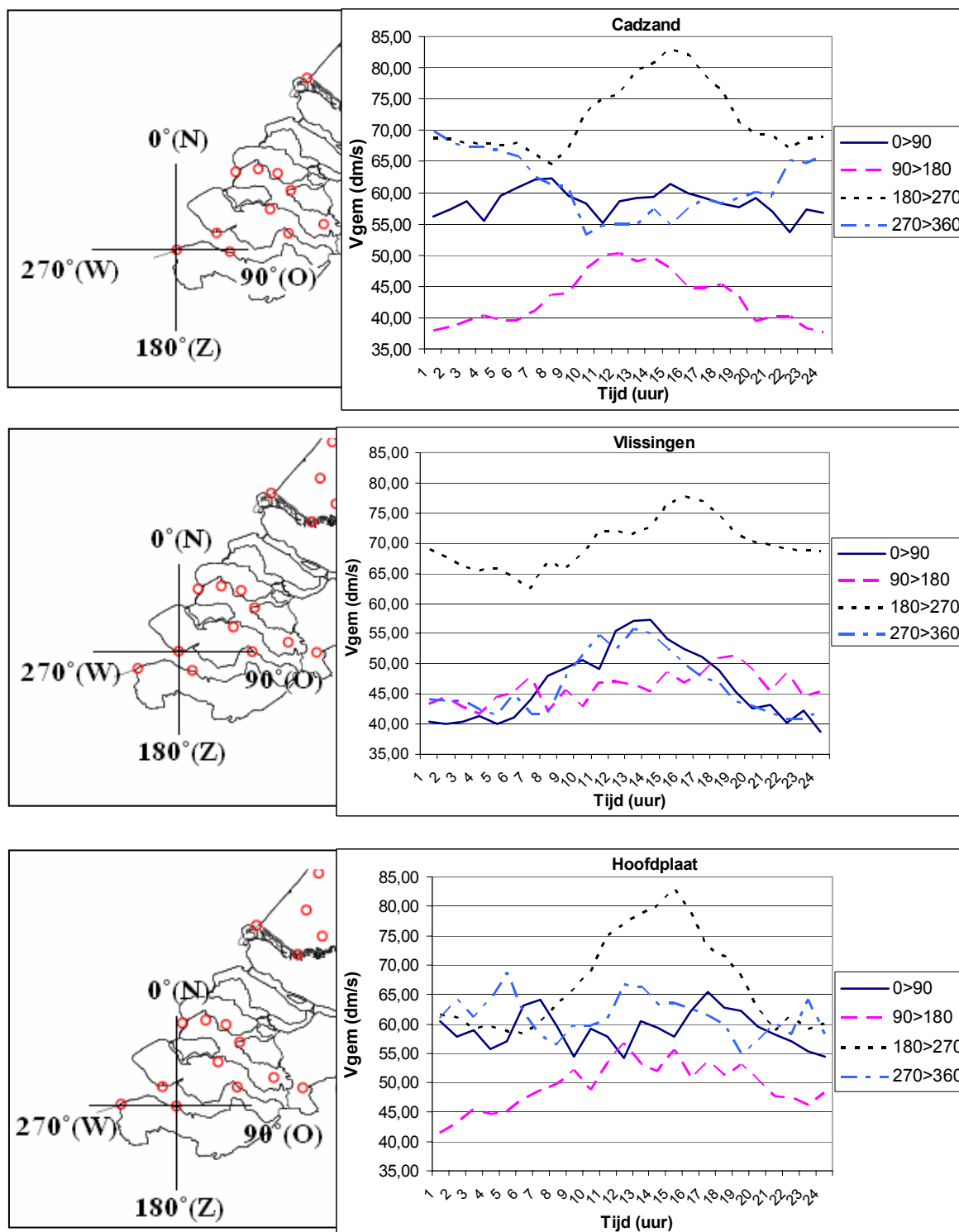
In figuur 5 is te zien dat bij alle drie de meetstations de windsnelheid gemiddeld het hoogst is bij een ZW wind (180° - 270°) en het laagst bij een ZO wind (90° - 180°), hoewel dat per station niet steeds hetzelfde is.

Bij *Cadzand* blijkt dat er bij windrichtingen waarbij een afluiddige wind waait (90° - 180° en 180° - 270°) sprake is van een stabiele atmosfeer: 's nachts waait het gemiddeld minder hard dan overdag. Vooral bij ZW wind (180° - 270°) is te zien dat het overdag harder waait dan 's nachts. De meest voorkomende windrichting was hier 190° en dus vrijwel vanuit het zuiden; daarbij komt de wind over land aan. Als bij Cadzand de wind van zee komt (NW: 270° - 360°) is het tegenovergestelde het geval: dan waait het 's nachts

<sup>1</sup> deze paragraaf is gebaseerd op een deel van het verslag dat Christiaan Kroese van de Hanzehogeschool Groningen in 2006 maakte van zijn stage bij de NW

<sup>2</sup> coördinaten in Rijksdriehoekstelsel: Cadzand x = 15,010 km, y = 378,610 km; Vlissingen x = 30,475 km, y = 385,125 km; Hoofdplaat x = 35,636 km en y = 377,878 km





*Figuur 5: gemiddelde windrichting per klokuur over alle uren in 2002 op meetstations Cadzand (boven), Vlissingen (midden) en Hoofdplaat (onder), verdeeld naar vier windstreken*

gemiddeld harder dan overdag. Bij NO wind ( $0^\circ - 90^\circ$ ) is weinig verschil tussen dag en nacht op te merken: er is dan sprake van wind over land en over zee, omdat de wind over land aankomt en vervolgens via de Westerschelde bij Cadzand aankomt.

Vlissingen wordt uiteindelijk aan alle kanten omringd door land en zee en de wind wordt dus meestal door beide bepaald. In alle windrichtingen blijkt de windsnelheid 's nachts wat minder dan overdag, maar niet zo sterk als bij een typische landwind. Opvallend is dat bij Vlissingen het windaanbod bij noordelijke richtingen ( $270^\circ - 360^\circ$  en  $0^\circ - 90^\circ$ ) kleiner is dan bij beide andere stations en dat er ook een duidelijker verschil tussen dag en nacht is: de aanwezigheid van een vaak stabiele atmosfeer 's nachts boven land (Walcheren) laat zich dus toch gelden.

De verdeling van de windsnelheden bij Hoofdplaat lijkt veel op dat bij Cadzand: bij noordelijke winden is er weinig invloed van atmosferische stabiliteit, bij zuidelijke winden is die er wel en uit die zich in een duidelijk dag-nacht verschil.

Uit de meetgegevens blijkt dus dat het gemiddelde verschil tussen dag en nacht groter is bij wind over land en kleiner bij wind over zee. Dit is verklaarbaar door de aanwezigheid van water dat een duidelijk dempend effect heeft op temperatuurvariaties en daardoor op de atmosferische stabiliteit. Als er sprake is van een landwind is duidelijk te zien dat er stabiliteit voorkomt, maar zodra de wind vanaf het water komt wordt de aanwezigheid van stabiliteit juist sterk verminderd.

### 2.3.3 Windsnelheid per seizoen

In figuur 6 is de gemiddelde windsnelheid op de meetpaal bij Hoofdplaat in 2002 per klokuur uitgezet waarbij de data zijn opgedeeld in de meteorologische seizoenen:

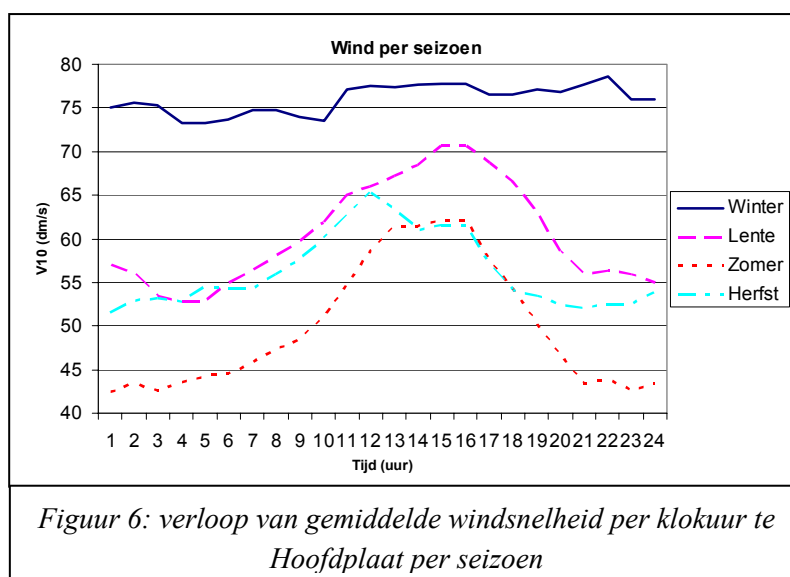
winter: 1 december tot en met 28 februari

lente: 1 maart tot en met 31 mei

zomer: 1 juni tot en met 31 augustus

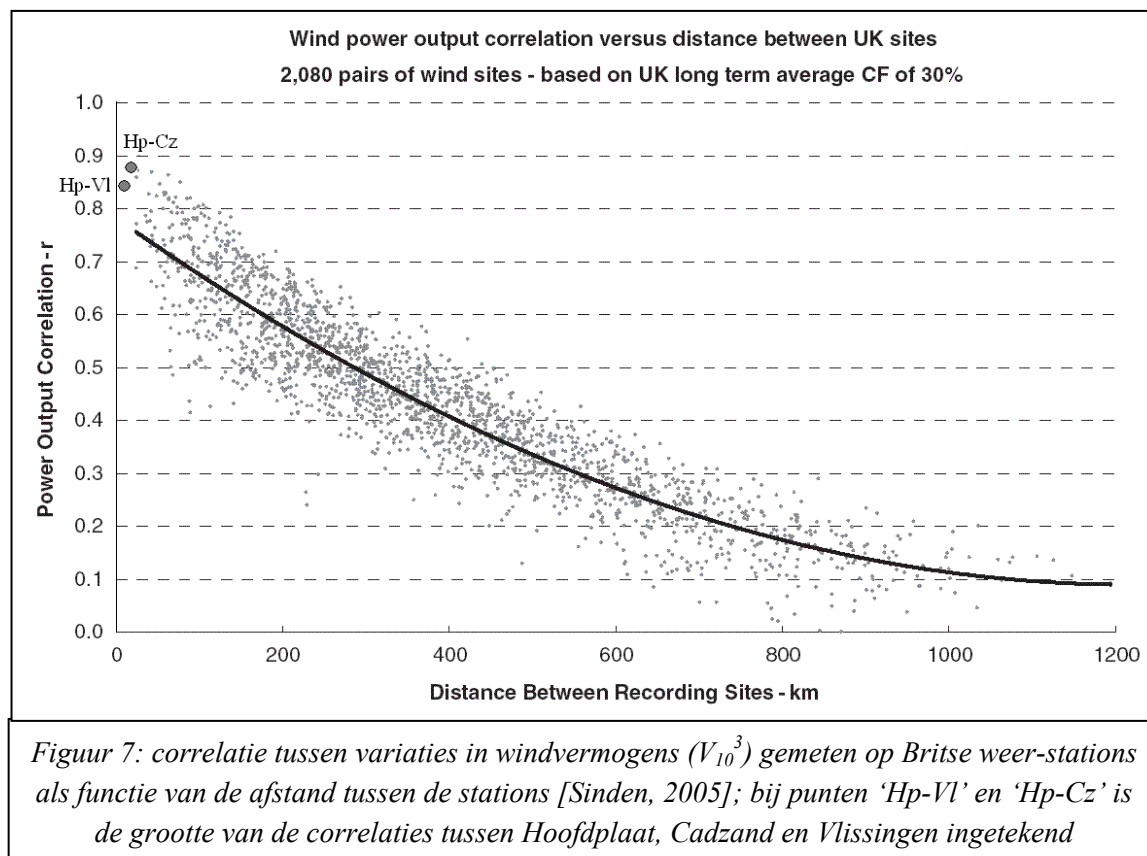
herfst: 1 september tot en met 30 november

Uit de figuur blijkt dat tijdens de winter gemiddeld de hoogste windsnelheden voorkomen en in de zomer de laagste. In de zomer en in iets mindere mate in lente en herfst, zijn behoorlijke verschillen te zien tussen dag en nacht, wat er op wijst dat een stabiele atmosfeer in deze seizoenen regelmatig voorkomt.



### 2.3.4 Correlatie tussen meetstations

De KNMI meetpaal bij Hoofdplaat is ongeveer 3 km van het windpark in Hoofdplaatpolder verwijderd. De afstand tussen de stations Cadzand en Hoofdplaat is 20,6 km, tussen stations Vlissingen en Hoofdplaat 8,9 km. Door de correlatie te bepalen tussen de data van Cadzand of Vlissingen met Hoofdplaat kan er een beeld verkregen worden over de samenhang in windsnelheid over deze afstanden. De correlatiecoëfficiënt tussen de derde macht van de windsnelheid (dat is een maat voor het windvermogen) heeft bij Hoofdplaat en Cadzand een waarde van 0,88, bij Hoofdplaat en Vlissingen 0,85. Dat betekent dat de variaties in windsnelheid te Hoofdplaat sterk samenhangen met die te Cadzand en Vlissingen. In figuur 7 zijn deze waarden ingetekend (punten 'Hp-Cz' en 'Hp-Vl') in een overzicht van correlaties van windvermogens tussen 2080 paren meetstations over geheel Groot Brittanië als functie van de afstand tussen het tweetal stations [Sinden 2005]. Uit de figuur blijkt dat, zoals te verwachten, de correlatie afneemt naarmate de afstand groter wordt. In de grafiek is te zien dat de correlaties in Zeeland goed aansluiten bij de Britse data.



Omdat de afstand tussen meetpaal Hoofdplaat en de windturbines in de Hoofdplaatpolder kleiner is, ongeveer 3 km, zal de correlatie hier nog hoger zijn. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de door meetpaal Hoofdplaat gemeten windsnelheid meestal goed overeen zal komen met de windsnelheid in de Hoofdplaatpolder. Dit bevestigt het algemene inzicht dat op korte afstanden (tientallen km's) het weer ongeveer hetzelfde is en het klimaat nauwelijks verandert.

### 2.3.5 Mate van vóórkomen van stabiliteitsklassen

In tabel 3 is een overzicht gegeven van het deel van de tijd waarin de verschillende stabiliteitsklassen zijn waargenomen volgens het KNMI, over een netto tijd van ruim 20 jaren [KNMI 1972]. Dag en nacht komen hier overeen met tijden dat de zon op respectievelijk onder is. De waarnemingen bij Vlissingen zullen goed correleren met de omstandigheden in de Hoofdplaatpolder. Ter vergelijking zijn ook gegevens van een binnenlands station (Eindhoven) gegeven, waaruit inderdaad blijkt dat daar 's nachts een stabielere atmosfeer vaker voorkomt dan aan zee. Toch is de atmosfeer aan zee nog gedurende een kwart van de tijd 's nachts (zon onder) stabiel, waarvan het grootste deel matig tot zeer stabiel.

<b>Tabel 3: percentage van tijd dat verschillende stabiliteitsklassen voorkomen [KNMI 1972]</b>						
	aan zee (Vlissingen)			binnenland (Eindhoven)		
stabiliteitsklasse volgens Pasquill	dag	nacht	etmaal	dag	nacht	etmaal
A zeer instabiel	5	-	2	6	-	3
B matig instabiel	16	-	7	15	-	7
C licht instabiel	16	-	7	12	-	5
D neutraal	61	71	67	66	61	63
E licht stabiel	-	10	6	-	10	6
F matig tot zeer stabiel	-	16	9	-	25	14
R onbekend	2	3	3	1	3	3

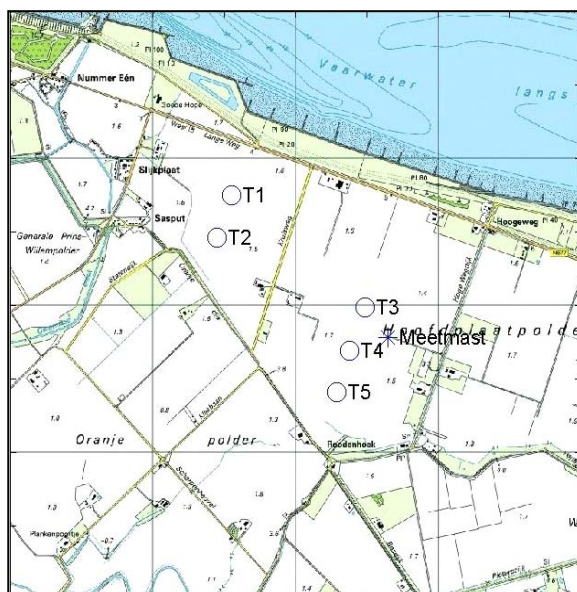
## 3 METINGEN HOOFDPLAATPOLDER

### 3.1 Opstelling en locatie

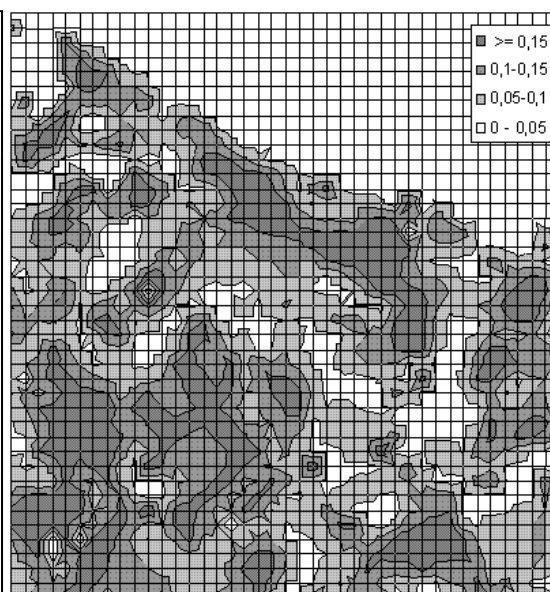
Op 20 april 2006 is in de Hoofdplaatpolder een meetmast geplaatst met windmeters, thermometers en een geluidmeter. De meetmast bestaat uit een 27 meter hoge vakwerkmast met daarin 2 cup-anemometers, 2 windvanen, 2 thermometers en een geluidmeter. De windsnelheidsmeter en windvaan op 10 meter hoogte zijn bevestigd op een arm die twee meter buiten de mast uitsteekt. Dit is gedaan om invloeden van de mast op de meting van windsnelheid en -richting te reduceren. Deze arm is aan de zuidwest kant van de mast geplaatst, de meest voorkomende windrichting. De hooggeplaatste windmeters waren bevestigd op een staak die 75 cm boven de masttop uitstak. Verdere gegevens van de apparatuur zijn vermeld in bijlage 1.

In figuur 8 is de positie van de meetmast gegeven, tezamen met die van de windturbines (voor de coördinaten van de windturbines zie tabel 7 in paragraaf 4.3.3). De kaart bestrijkt het gebied tussen x-coördinaten 30 en 34 km en y-coördinaten 375 en 379 km.

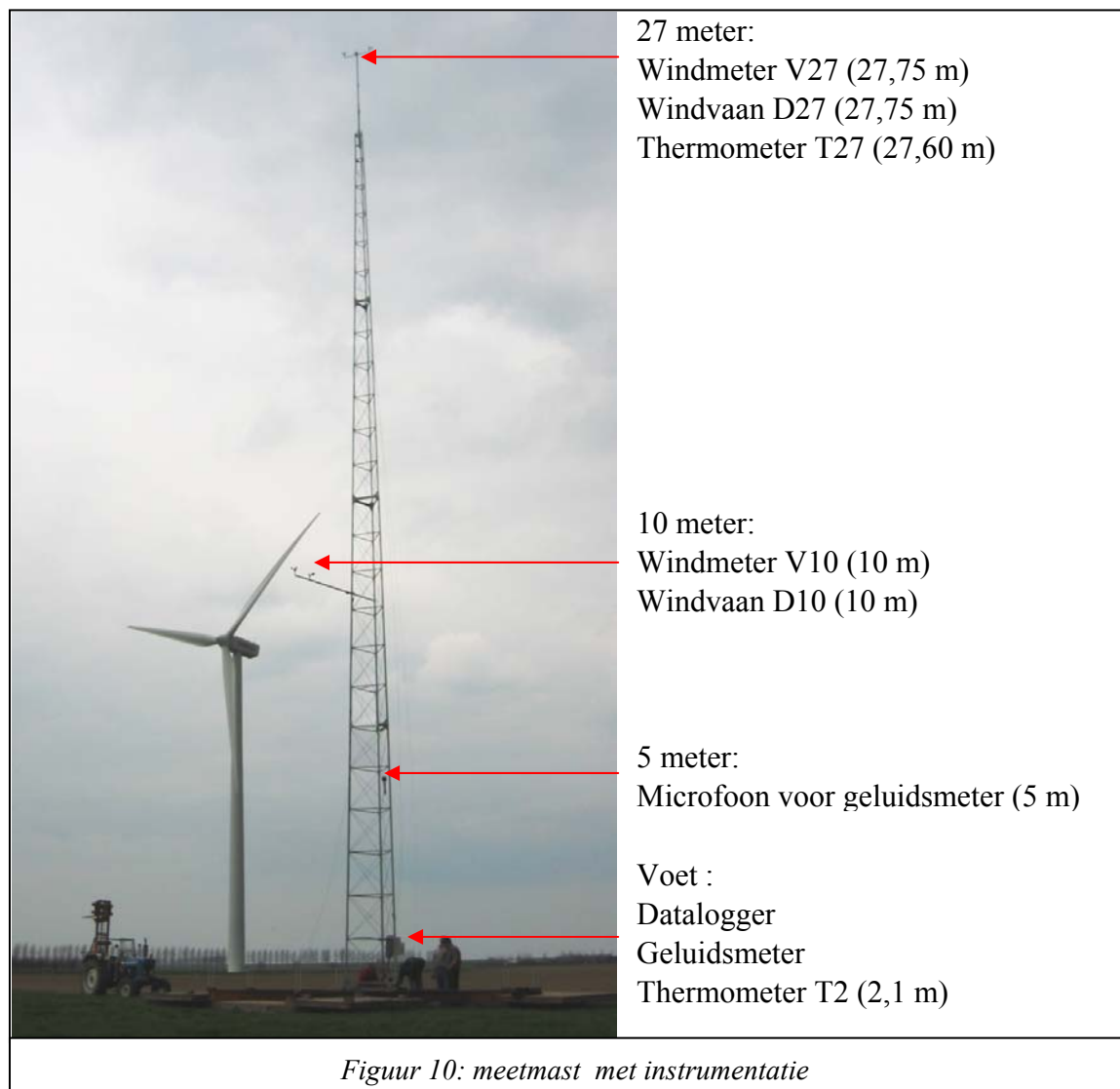
De meetmast is geplaatst op land met lage begroeiing zonder verstorende objecten. Het land werd tijdens plaatsing van de mast gebruikt om graszaad te kweken, in het najaar werd in een deel graan gezaaid en een ander deel omgeploegd. De dichtstbijzijnde hoge begroeiing zijn de hoge bomen langs de Hogewegdijk 450 m ten oosten van de meetmast. Ten westen van de mast is een boomgaard met lage kersenbomen. In figuur 9 is de ruwheidshoogte weergegeven van hetzelfde gebied als in figuur 8 in vakken van 100m x 100m op basis van KNMI-gegevens [KNMI 2000]. De ruwheidshoogte bedraagt gemiddeld 9 cm en ligt overal (m.u.v. de bebouwing te Slijkplaat en Sasput) onder de 20 cm.



Figuur 8: locatie meetmast en windturbines in de Hoofdplaatpolder



Figuur 9: ruwheidshoogte in gebied in en rond Hoofdplaatpolder

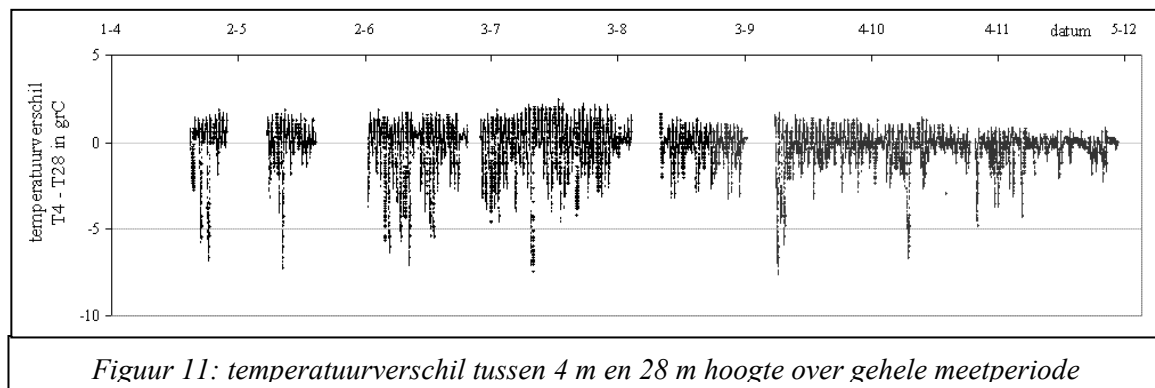


### 3.2 Meetperiode

Dit rapport behandelt metingen over de periode van 20 april 2006 tot 3 december 2006, dat wil zeggen over een periode van 227 dagen. In deze meetperiode heeft de apparatuur om diverse redenen gedurende korte perioden geheel of gedeeltelijk niet gefunctioneerd. In de tijdvakken 21 mei/10:24 – 2 juni/21:12, 27 juni/13:23 – 30 juni/12:33, 6 augustus/14:40– 13 augustus/11:14, en 3 september/9:07– 10 september/13:51 (totaal 29,5 dagen) is er niets gemeten. Op 3 juni werd van 11:07 tot 22:12 uur geen geluid gemeten en van 29 april, 13:39 tot 9 mei, 9:02 werd geen hoge temperatuur (T28) gemeten. De lage windsnelheidsmeter ( $V_{10}$ ) heeft gedurende een deel van de tijd soms zeer afwijkende waarden aangegeven, hetgeen achteraf bleek te liggen aan water in de meter dat bij harde NW-wind (alleen dan traden de hoge waarden op) voor een te hoge signaalwaarde zorgde. Deze waren echter goed herkenbaar en zijn uit de data verwijderd. In totaal waren er daardoor van de 65032 meetblokken van 5 minuten van 7020 meetblokken geen meetgegevens van de windsnelheid  $V_{10}$ . Uiteindelijk bleven er 46074 meetblokken (160

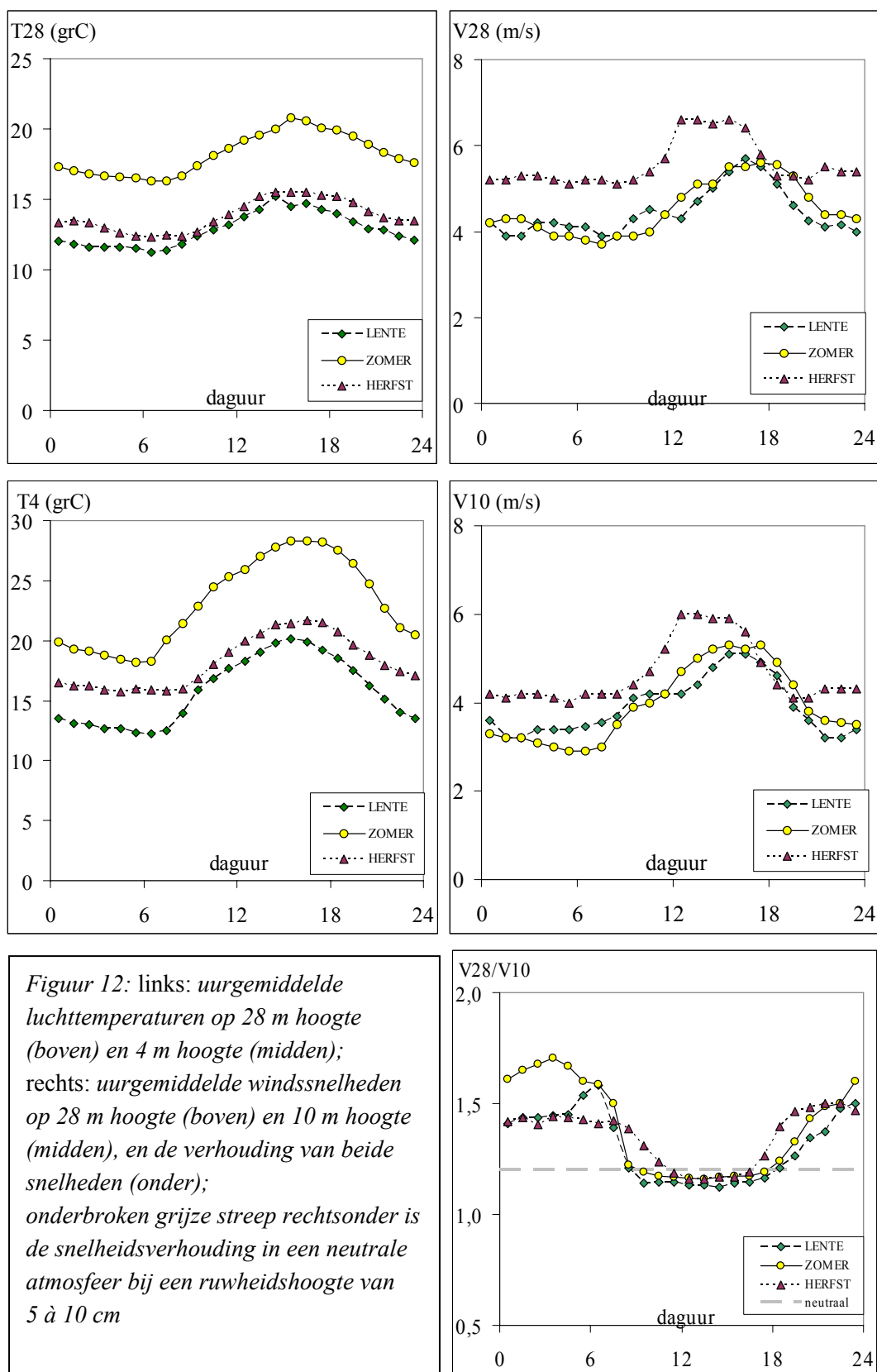
dagen) over met correcte meetgegevens van alle meters. In figuur 11 zijn deze zichtbaar doordat er op die momenten waarden zijn gegeven.

In figuur 11 is over de meetperiode een registratie gegeven van het temperatuurverschil tussen 4 m en 28 m hoogte. Overdag is meestal de temperatuur van de bodem hoger dan die van lucht, 's nachts is dat meestal juist omgekeerd. Het gevolg is dat het verschil  $T_4 - T_{28}$  overdag meestal positief is (grond warmer), 's nachts meestal negatief (grond koeler). Zoals uit figuur 11 blijkt kan de lucht op lage hoogten sterk afkoelen (grote negatieve waarde van  $T_4 - T_{28}$ ) hetgeen typisch is voor temperatuurinversies welke een uiting zijn van hoge atmosferische stabiliteit.



### 3.3 Verloop temperatuur en windsnelheid

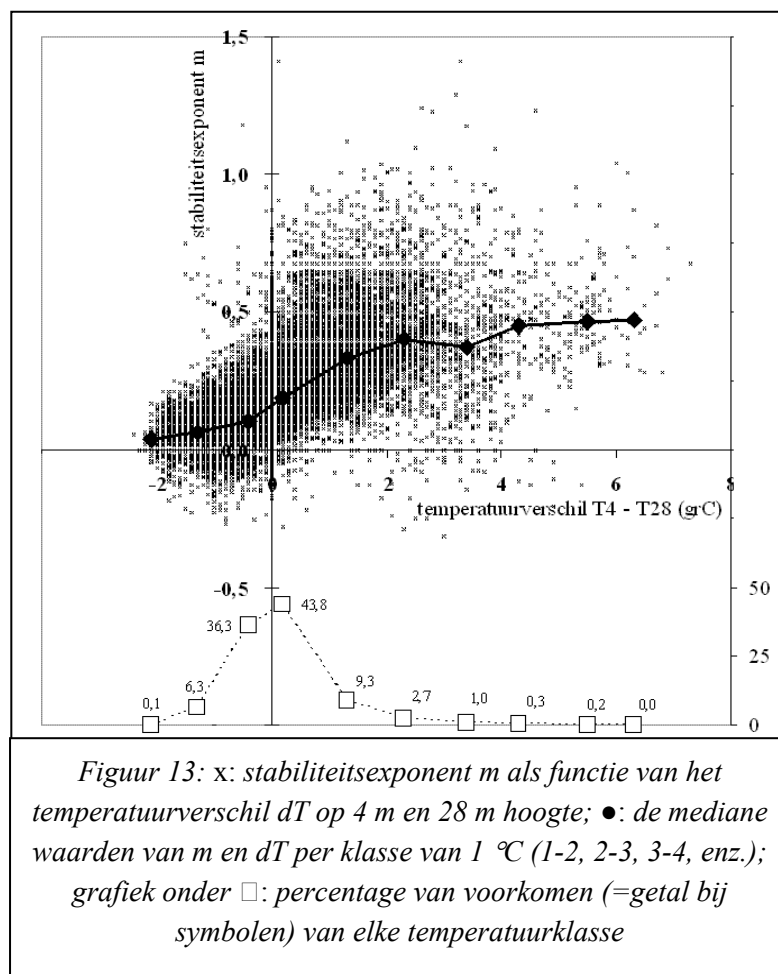
In figuur 12 is het verloop gegeven van de gemeten temperatuur en windsnelheid, gemiddeld per klokuur en verdeeld over drie seizoenen. Duidelijk zichtbaar is de dagelijkse gang in de temperatuur en windsnelheid, veroorzaakt door de dagelijkse opwarming en nachtelijke afkoeling van de bodem. De verhouding tussen de windsnelheden op 28 m en op 10 m hangt daar direct mee samen: overdag is deze vaak wat lager dan 1,2, 's nachts meestal aanzienlijk hoger. De waarde van de windsnelheidsverhouding  $V_{28}/V_{10}$  in een neutrale atmosfeer (rechte onderbroken streep in figuur 12 rechtsonder) volgt uit formule 2:  $m = 0,15$  invullen geeft  $V_{28}/V_{10} = 1,17$ . Nagenoeg dezelfde waarde volgt uit het logaritmische windprofiel die immers juist geldt in een neutrale atmosfeer: met een ruwheidshoogte  $z_0 = 5$  tot 10 cm geeft formule 1 een verhouding  $V_{28}/V_{10} = 1,19$  tot 1,22.





Het verband tussen de atmosferische stabiliteit en de nachtelijke afkoeling is verder af te leiden uit figuur 13 waar de afzonderlijke waarden per 5 minuten meettijd zijn uitgezet van het verschil  $dT$  tussen de temperaturen op 4 m en 28 m hoogte en de stabiliteitsexponent  $m$  ( $m$  is bepaald m.b.v. formule 2:  $m = \log(28/10)/\log(V_{28}/V_{10})$ ). Daarbij zijn de waarden met (nagenoeg) windstilte ( $V_{10} < 1$  m/s en  $V_{28} < 2$  m/s) weggelaten. Duidelijk is dat de waarden behoorlijk spreiden en dat er vooral overdag zelfs negatieve waarden van  $m$  voorkomen, hetgeen betekent dat  $V_{28} < V_{10}$ .

Binnen temperatuurverschil-klassen ( $dT$ -klassen) van  $1^\circ\text{C}$  ( $-2$  tot  $-1^\circ\text{C}$ ,  $-1$  tot  $0^\circ\text{C}$ , enz.) zijn de mediane waarden<sup>1</sup> bepaald van zowel  $dT$  als  $m$ , in figuur 13 weergegeven als dikke zwarte symbolen (verbonden door zwarte lijn).



De mediane waarden zijn in overeenstemming met de verwachting (zie tabel 1):

- bij een relatief warme bodem ( $dT < -0,5^\circ\text{C}$ ; instabiele atmosfeer) heeft  $m$  gemiddeld een waarde van 0,04 tot 0,1;
- bij een relatief koude bodem ( $dT > 0,5^\circ\text{C}$ ; stabiele atmosfeer) heeft  $m$  gemiddeld een waarde van 0,33 tot 0,47;
- daartussen zijn de temperatuursverschillen gering (neutrale atmosfeer) en bedraagt  $m$  gemiddeld tussen 0,1 en 0,2.

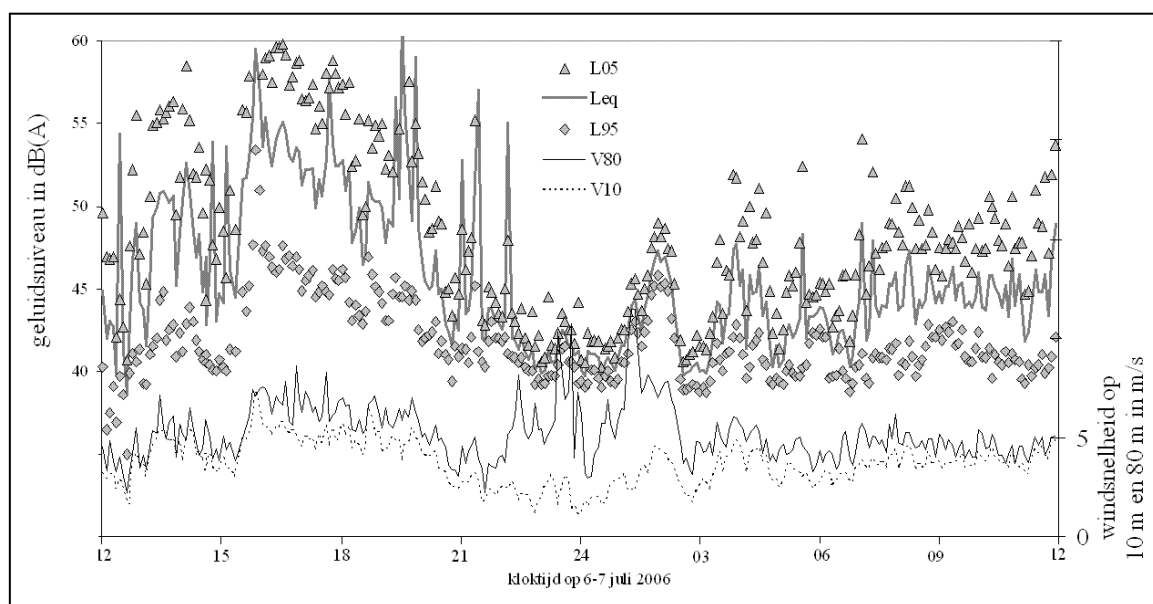
Een stabiele atmosfeer komt volgens deze metingen gedurende 13,5 % van de totale tijd voor (= som van percentages vermeld bij  $dT > 0,5^\circ\text{C}$  in figuur 13). Dat komt goed overeen met de eerder bepaalde prevalentie van Pasquill-klassen E en F, nl. 15% (zie tabel 3: 6% + 9%) van alle uren.

<sup>1</sup> de mediane waarde ligt 'halverwege' alle waarden: van alle waarden ligt 50% boven de mediaan en 50% eronder

### 3.4 Gemeten geluidsniveaus

Op de meetmast is ook het niveau gemeten van het omgevingsgeluid. Dit bevat alle geluid, niet alleen van de windturbines, maar ook van onder andere vegetatie, vervoermiddelen en agrarische activiteiten en van wind op de microfoon(bol). In figuur 14 is een registratie gegeven van het gemeten geluidsniveau als functie van de windsnelheid op 10 m hoogte gedurende het etmaal tussen 12 uur, 5 juli en 12 uur, 6 juli 2006. Daarbij is weergegeven het equivalente geluidsniveau ( $L_{eq}$ ) per meetblok van 5 minuten, alsmede twee percentielwaarden ( $L_5$  en  $L_{95}$ )<sup>1</sup> waartussen steeds 90% van alle meetwaarden in de betreffende 5-minuten periode liggen. Daarnaast is in figuur 14 ook de windsnelheid op 10 m hoogte gegeven. Uit de figuur blijkt dat er overdag een flinke spreiding is in de meetwaarden ( $L_5 - L_{95} > 10$  dB), maar dat deze 's nachts afneemt en vaak, als er geen stoorgeluid is, minder dan 5 dB bedraagt. In dat laatste geval is er kennelijk een relatief constante geluidsbron, waarvoor alleen het windpark in aanmerking kan komen. Overeenkomstig deze eerder gebruikte analysemethode [Van den Berg 2006] kunnen aldus de meetblokken geselecteerd worden waarin het windturbinegeluid dominant is door te selecteren op een beperkte spreiding van het geluidsniveau; daarbij is weer gekozen voor een spreiding van maximaal 4,0 dB ( $L_5 - L_{95}$ ), hetgeen in een normale verdeling correspondeert met een standaarddeviatie van het geluidsniveau van 1,2 dB.

De forse toename in het geluidsniveau in figuur 14 tussen 1 en 3 uur 's nachts hangt samen met een plotselinge toename van de windsnelheid op 80 m, ondanks dat daarvan in de windsnelheid op 10 m hoogte vrijwel niets te zien is.



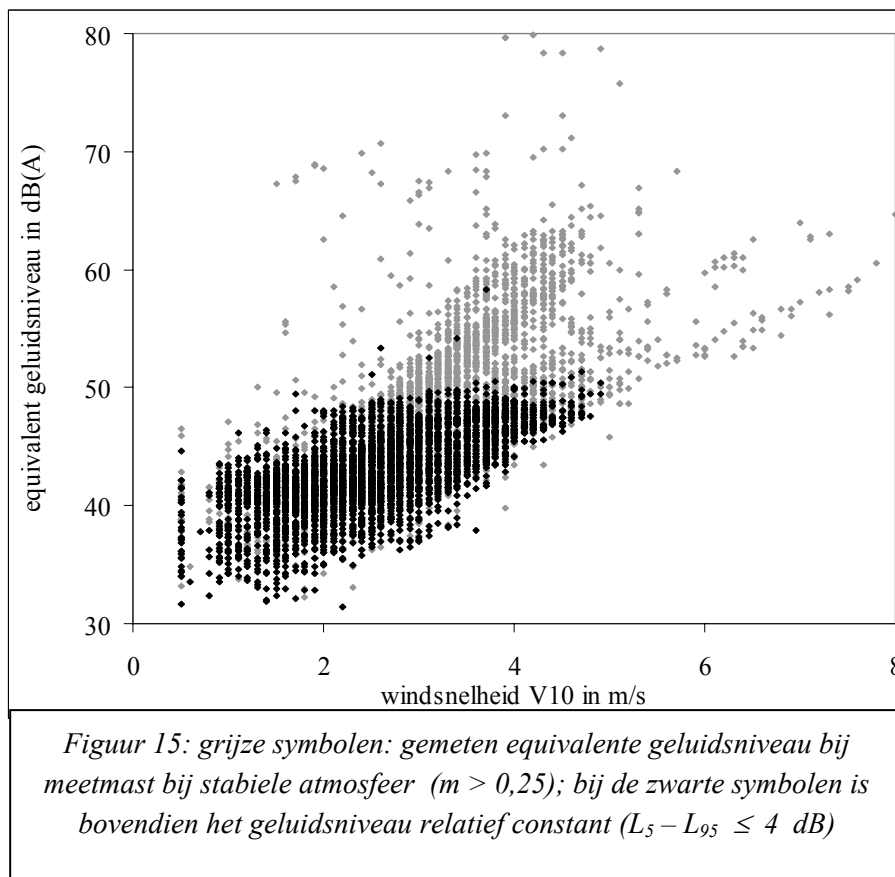
*Figuur 14: registratie over één etmaal van het equivalente geluidsniveau  $L_{eq}$  en van de percentielwaarden  $L_5$  en  $L_{95}$  en windsnelheid op 10 m hoogte; de vaak beperkte spreiding in meetwaarden vanaf ca. 21 uur tot ca. 01 uur duidt op een relatief constante geluidsbron*

<sup>1</sup> het 5-percentiel  $L_5$  is die waarde waarboven 5% van alle waarden liggen; in deze metingen liggen dus 5% van 150 meetwaarden (elke 2 seconden binnen een 5-minuten periode) boven het  $L_5$ , 95% ligt eronder; bij het  $L_{95}$  ligt juist 95% erboven, 5% eronder

In figuur 15 is het gemeten equivalente geluidsniveau uitgezet van alle 5-minuten meetblokken die voldoen aan de volgende selectiecriteria:

- alleen formele nachturen: alleen blokken die zijn gemeten tussen 23 en 07 uur.
- stabiele atmosfeer: de stabiliteitsexponent  $m$  (bepaald uit de windsnelheden op 10 m en 28 m hoogte) heeft een waarde van tenminste 0,25.
- de windsnelheid op 80 m hoogte bedraagt tenminste 5 m/s

De nachtperiode bevat in totaal bijna 1300 uur netto meettijd (15836 correcte meetblokken à 5 minuten). Na selectie op stabiliteit en voldoende windsnelheid resteren er nog 6103 meetblokken (38,5%). In figuur 15 is deze selectie ingetekend met lichtgrijze symbolen. Vervolgens is geselecteerd op beperkte spreiding ( $L_5 - L_{95} \leq 4$  dB), welke in figuur 15 met zwarte symbolen is weergegeven; dit betreft 3537 meetblokken oftewel 22% van de totale (netto) meettijd 's nachts. Uit de figuur blijkt dat bij de selectie op beperkte *spreiding* van het geluidsniveau (dus niet op de *hoogte* van het geluidsniveau) nagenoeg alle meetwaarden boven 50 dB(A) verdwijnen.

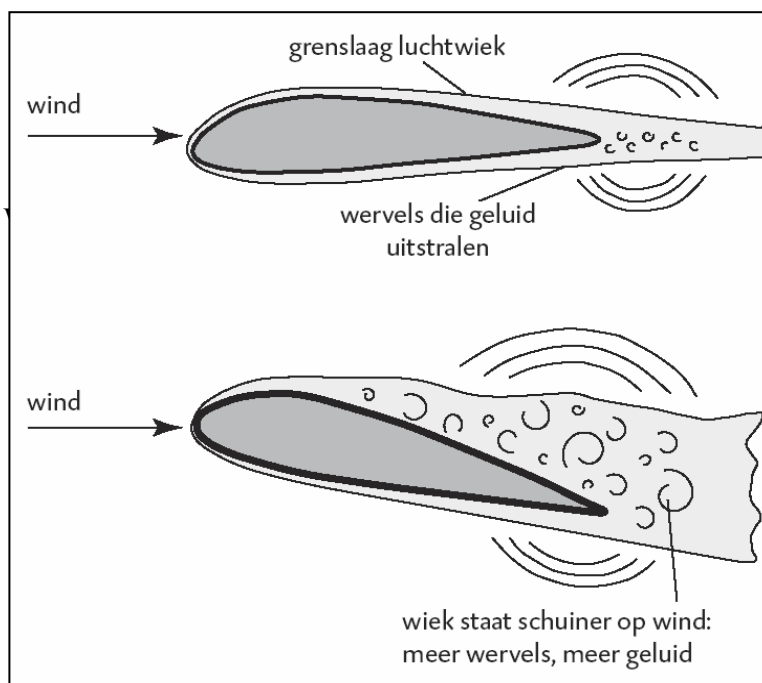


## 4 UITGANGSPUNTEN BIJ DE BEPALING VAN DE GELUIDSBELASTING

### 4.1 Voornaamste oorzaak van windturbinegeluid

Geluid van windturbines is afkomstig van mechanische onderdelen in de turbine zoals de overbrenging en generator, en van het aërodynamische geluid van de rotorbladen. Deze laatste bron is bij moderne, grote windturbines de dominante geluidsbron. De aërodynamische geluidsproductie neemt sterk toe met de snelheid waarmee de lucht over de rotorbladen stroomt, waardoor vooral de snellopende bladtips het meeste geluid produceren en meer naarmate het toerental toeneemt.

De rotorbladen van een windturbine draaien door gebruik te maken van lift. Door de vorm van het rotorblad wordt de luchtstroom afgebogen en ontstaat er een drukverschil tussen de onder en bovenkant van het rotorblad. Dit drukverschil zorgt ervoor dat het rotorblad beweegt. Om hier zo effectief mogelijk gebruik van te maken kan een windturbine de invalshoek van de rotorbladen veranderen. Als de invalshoek niet optimaal is ontstaan er meer en grotere luchtwervels achter het rotorblad en daarmee meer geluid (bij gelijk toerental). Grote windturbines hebben vaak een ashoogte van 80 tot



*Figuur 16: dwarsdoorsnede van wiek met aan de achterzijde de turbulente grenslaag die geluid uitstraalt; als de wiek schuiner staat t.o.v. de instromende lucht is de grenslaag dikker en ontstaat er meer geluid [Van den Berg 2007]*

100 meter, en rotorbladen met een lengte van 40 meter. Dit betekent dat de rotorbladen een hoogteverschil doorlopen van (2 maal 40 =) 80 meter.

De invalshoek van de wind op elk rotorblad is afhankelijk van de heersende windsnelheid en de rotatiesnelheid van het blad. De rotor als geheel wordt aangedreven door de gemiddelde windsnelheid over de rotor, die ongeveer gelijk is aan de windsnelheid op ashoogte. Dichter bij de grond is de windsnelheid meestal echter lager, waardoor de invalshoek van de wind op het rotorblad op ashoogte wel optimaal is, maar onderin het rotorvlak niet. Hierdoor ontstaan bij het passeren van de lagere luchtlagen meer

luchtwervels aan de achterrand van de wiek en dus ook meer geluid. Dit effect wordt versterkt als het rotorblad de mast van de turbine passeert: de mast fungeert als een obstakel die de wind extra vertraagt. Het resultaat is een variërend geluid dat een impulsachtig, “stampend” karakter krijgt als de snelheidsverschillen over de rotor voldoende groot zijn.

Vooraf bij een stabiele atmosfeer zijn windturbines om twee redenen lawaaiig. Ten eerste is het verschil in windsnelheid tussen de hoger en lager gelegen luchtlagen groter, waardoor de invalshoek van de rotorbladen bij het passeren van de luchtlagen dicht bij de grond niet optimaal is en er een ritme in het geluid ontstaat: het ‘stampen’ of ‘klappen’ van de wieken. Ten tweede is bij een stabiele atmosfeer de windsnelheid op rotorhoogte vaak hoog en aan de grond juist laag, waardoor er minder achtergrondgeluid is van het ritselen van gewas terwijl de windturbine dan juist veel geluid produceert.

Een eigenschap van een stabiele atmosfeer is verder dat er weinig variaties in de wind zijn, en de windsnelheid over grotere afstanden gelijk is. Dit kan er voor zorgen dat meerdere windturbines in een windpark bijna synchroon gaan draaien, en op ongeveer hetzelfde moment geluidspulsen veroorzaken die elkaar kunnen versterken [Van den Berg 2006].

## 4.2 Geluidsproductie van Vestas V80 windturbines

### 4.2.1 SAMENHANG MET WINDSNELHEID

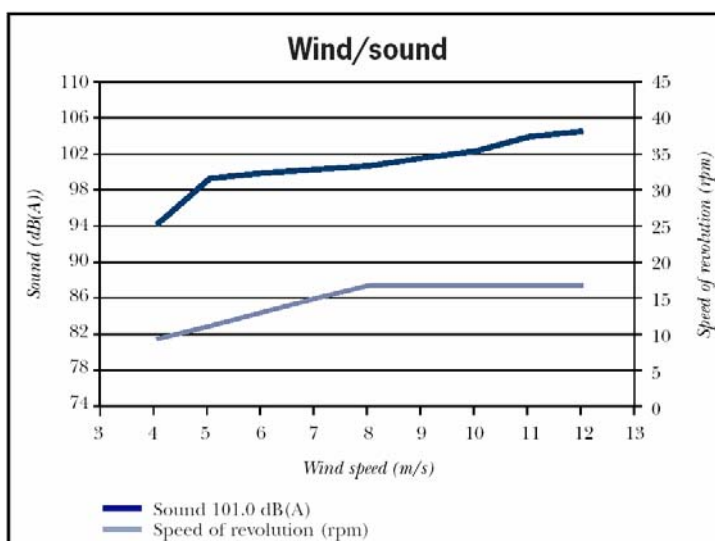
De vijf windturbines in de Hoofdplaatpolder zijn driebladige Vestas V80 turbines met een ashoogte van 78 m, een rotordiameter van 80 m en een maximaal elektrisch vermogen van 2,0 MW elk. De turbines zijn in eigendom van WEOM (Wind Energie Ontwikkelings Maatschappij) te Veenendaal en de agrarische ondernemers Dekker en Mocking te Hoofdplaat.

De Vestas V80 is een windturbine met een toerental dat varieert tussen 9,0 en 19,0 rpm (omwentelingen per minuut). Bij toenemende productie zijn een aantal stadia te onderscheiden (N.B.: hieronder wordt steeds de windsnelheid op 10 m hoogte bedoeld, de uitspraken gelden in een neutrale atmosfeer boven laag gewas):

- 1 bij een windsnelheid van 4 m/s is het toerental 9 rpm en begint de turbine elektrisch vermogen te produceren; ook beginnen de wieken dan aërodynamisch geluid op te wekken.
- 2 bij verder toenemende windsnelheid neemt het toerental toe tot een maximum van 19 rpm; tegelijk neemt ook het geproduceerde elektrische vermogen toe alsmede de hoeveelheid geluid.
- 3 bij een windsnelheid van ongeveer 8 m/s bereikt het toerental de maximale waarde van 19 rpm en wordt het meest efficiënt elektriciteit opgewekt; bij verder toenemende windsnelheid wordt de vaastand van de wieken zodanig gewijzigd dat het toerental constant blijft en neemt de hoeveelheid geproduceerd elektrisch vermogen verder toe, maar door de minder optimale vaastand neemt de efficiency van de opwekking af en zal de geluidsproductie toenemen.

- 4 bij ongeveer 15 m/s wordt het maximale elektrische vermogen bereikt en bij 25 m/s wordt de windturbine gestopt om schade te voorkomen.

In figuur 17 is aangegeven hoe het geluidsvermogen en toerental zich bij de V80 ontwikkelen als functie van de windsnelheid. De windsnelheid ligt in Nederland verreweg het grootste deel van de tijd beneden 8 m/s.



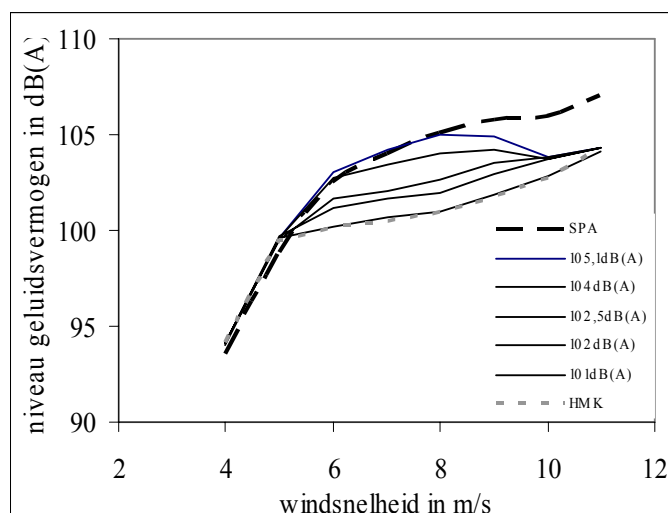
Figuur 17: geluidsvermogen (boven) en toerental (onder) als functie van de windsnelheid op 10 m hoogte [brochure Vestas "V80-2.0MW"]

De geluidsproductie van de V80 wordt vooral bepaald door de snelheid van de wicketips en dus door het toerental, maar daarnaast ook door de stand van de wieken ten opzichte van de inkomende wind: als die minder optimaal is neemt de geluidsproductie toe.

Met behulp van Optispeed, een regelmechanisme voor een lager geluidsniveau dat vóór installatie van de turbine kan worden ingesteld, is het mogelijk het toerental te verlagen zodat de geluidsproductie afneemt. Daarbij kan gekozen worden uit een aantal instellingen (modi). Het opgewekte elektrische vermogen neemt daardoor echter ook (hoewel in betrekkelijk bescheiden mate) af. Voorzover bekend is een dergelijke regeling niet toegepast bij de turbines in Hoofdplaatpolder.

#### 4.2.2 BRONSTERKTE

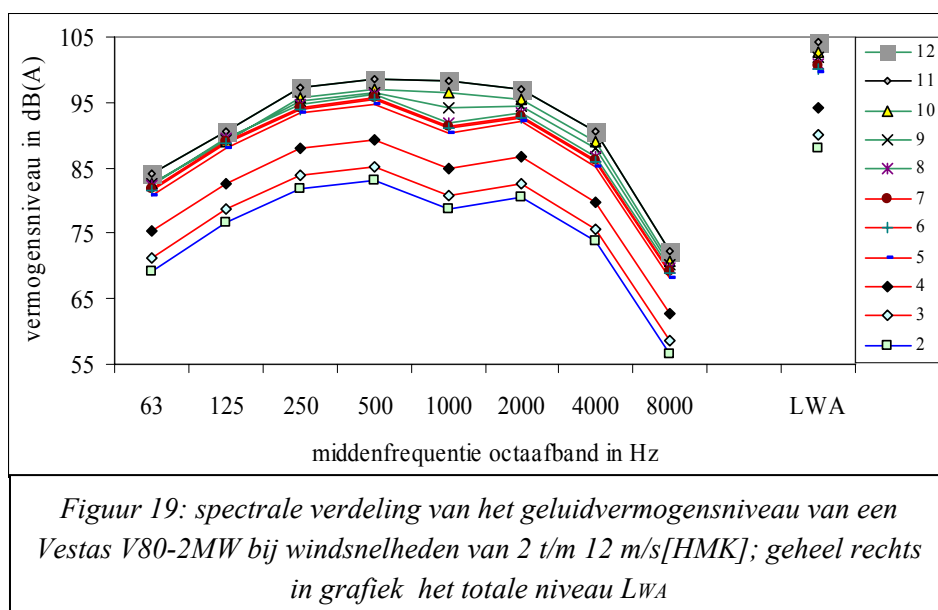
De bronsterkte (ook wel 'bronvermogen' en officieel: geluidvermogensniveau) van een Vestas V80-2MW met een ashoogte van 78 m is in figuur 18 weergegeven als functie van de windsnelheid op 10 m hoogte en in een neutrale atmosfeer. De curve met label SPA is zoals weergegeven in bijlage 7 (zonder bronvermelding) van een rapport van SPA [SPA 2005], die met label HMK is uit een rapport van HayesMcKenzie Partnership [HMK]. De overige curven zijn uit een rapport van Vestas zelf [Vestas 2004] en



Figuur 18: ontwikkeling van de bronsterkte van een Vestas V80-2MW met een ashoogte van 80 m volgens drie bronnen [SPA, Vestas, HMK] en in verschillende operationele modi (xxx dB(A))

geven de verschillende operationele modi weer die kunnen worden ingesteld om de geluidsproductie te beperken. Volgens Vestas is de nauwkeurigheid van de opgegeven bronsterkten  $\pm 2$  dB, dus ten opzichte van de door de fabrikant gegeven bronsterkten kan een geleverde turbine maximaal 2 dB daarvan afwijken [Vestas 2004]. Voorzover bekend wordt bij de turbines in Hoofdplaatpolder de hoogste modus (105.1dB(A)) gebruikt; bij windsnelheden tot 8 m/s komt deze nagenoeg overeen met de door SPA gebruikte curve. Het is onduidelijk waarom de 105.1 dB(A) curve volgens Vestas bij hogere windsnelheden verschilt van die volgens SPA; voor dit rapport is dit echter van ondergeschikt belang omdat vooral de lagere windsnelheden van belang zijn.

In figuur 19 is de spectrale verdeling (in octaafbanden) weergegeven van het geluidvermogensniveau volgens [HMK], bij windsnelheden oplopend van 2 tot 12 m/s (10 m hoogte, neutrale atmosfeer). De vorm van het spectrum is nagenoeg constant (ook in de verschillende operationele modi); voor de berekening van geluidsniveaus in de omgeving kan daarom met één spectrum worden volstaan. De geluidsniveaus en spectrale vorm die in dit rapport gebruikt zullen worden zijn vermeld in tabel 4.



**Tabel 4: gegevens geluidvermogensniveau Vestas V80-2MW, 80 m ashoogte [Vestas, HMK]**

windsnelheid op 10 m hoogte	m/s	4	5	6	7	8	9	10
windsnelheid op 80 m hoogte in neutrale atmosfeer	m/s	5,6	7,0	8,4	9,7	11,1	12,5	13,9
geluidvermogensniveau $L_W$	dB(A)	98,8	99,6	103,0	104,2	105,0	104,9	103,8
frequentie	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000
geluidvermogensniveau per octaafband t.o.v. $L_W$	dB(A)	-18,7	-11,4	-6,2	-4,8	-9,2	-7,5	-14,3

#### 4.2.3 BRONSTERKTE EN WINDSNELHEID OP 10 M HOOGTE

De relatie tussen de windsnelheid op ashoogte en de bronsterkte kan bepaald worden uit tabel 4 en is te beschrijven met een derdegraadsvergelijking binnen het bereik  $5 < V_{80} < 11$  m/s:

$$L_W = 36,0 + 17,09 \cdot V_{80} - 1,415 \cdot V_{80}^2 + 0,0391 \cdot V_{80}^3 \text{ dB(A)} \quad (\text{formule 3})$$

In tabel 5 is de aldus berekende bronsterkte vermeld behorende bij de wind op ashoogte als de atmosfeer neutraal is wat de gebruikelijke aanname is bij het berekenen van het geluidsniveau tengevolge van windturbines. Verder is ook de bronsterkte vermeld bij dezelfde windsnelheid op 10 m hoogte, maar met een stabiele atmosfeer. Daarbij zijn de gegevens uit tabel 2 gebruikt en is steeds uitgegaan van de hoogst mogelijke stabiliteitsklasse bij de desbetreffende windsnelheid  $V_{10}$  (dus klasse F als  $V_{10} \leq 3$  m/s, klasse D als  $V_{10} \geq 6$  m/s, klasse E daartussenin). Zoals hieronder (par. 4.3) wordt betoogd zijn dit de maatgevende omstandigheden voor het vaststellen van de geluidsbelasting.

Uit tabel 5 blijkt dat bij lage windsnelheden nabij de grond ( $V_{10} < 6$  m/s) de bronsterkte in een stabiele atmosfeer aanzienlijk hoger is dan in een neutrale atmosfeer; vanaf een windsnelheid van 6 m/s ( $V_{10}$ ) is er geen verschil meer. De afname in de bronsterkte als de windsnelheid toeneemt van 3 naar 4 m/s wordt veroorzaakt doordat de atmosfeer bij 3 m/s nog zeer stabiel kan zijn, maar bij 4 m/s alleen maar matig stabiel. Bij een zeer stabiele atmosfeer is de wind op grotere hoogte naar verhouding hoger dan bij een matig stabiele atmosfeer. Een vergelijkbaar proces doet zich voor bij de overgang van 5 naar 6 m/s.

<b>Tabel 5: windsnelheden op 10 en 80 m hoogte in een neutrale en stabiele atmosfeer, en bijbehorende bronsterkten van een Vestas V80-2MW</b>								
windsnelheid op 10 m hoogte	m/s	2	3	4	5	6	7	8
neutrale atmosfeer								
stabiliteitsexponent $m$	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
windsnelheid op 80 m hoogte	m/s	2,7	4,1	5,5	6,8	8,2	9,6	10,9
bronsterkte	dB(A)	-	-	93,6	99,2	102,6	104,3	104,9
stabiele atmosfeer								
stabiliteitsklasse		F	F	E	E	D	D	D
stabiliteitsexponent $m$	-	0,55	0,55	0,35	0,35	0,15	0,15	0,15
windsnelheid op 80 m hoogte	m/s	6,3	9,4	8,3	10,4	8,2	9,6	10,9
bronsterkte	dB(A)	97,2	104,2	102,7	104,7	102,6	104,3	104,9



## 4.3 Geluidsbelasting op woningen

### 4.3.1 BEOORDELING VOLGENS REGELGEVING<sup>1</sup>

#### *Windnormcurve WNC*

Het Besluit Voorzieningen en Installaties Milieubeheer (Besluit V&Im) geeft voor het geluid van windturbines grenswaarden die afhankelijk zijn van de windsnelheid gemeten op 10 m hoogte. De grenswaarden volgen de zogenoemde WindNormCurve of WNC (zie tabel 6). Bij zwakke wind (0-2 m/s, 1 Beaufort) sluit de grenswaarde (van 40 dBA) aan bij de in veel Algemene Maatregelen van Bestuur gebruikelijke nachtelijke grenswaarden voor bedrijfslawaai en bij de algemene streefwaarde voor een rustige of gemengde woonwijk volgens de Handreiking Industrielawaai en Vergunningverlening. Bij toenemende windsnelheid neemt de grenswaarde toe tot 50 dB(A) bij 12 m/s (krachtige tot harde wind, 6 Beaufort). Hierbij is impliciet verondersteld dat er een vast verband is tussen de windsnelheid gemeten op 10 m hoogte en op andere hoogtes; dat verband is echter alleen correct in een neutrale, niet in een stabiele atmosfeer. Het Besluit V&Im berust dus op verkeerde opvattingen over hoe de wind zich gedraagt, maar zolang het van kracht is moet daar wel aan getoetst worden.

<b>Tabel 6: grenswaarden voor windturbinegeluid volgens Besluit voorzieningen en installaties Milieubeheer</b>												
windsnelheid op 10 m hoogte in m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
grenswaarde in dB(A)	40	40	41	41	42	42	43	44	46	47	48	50

De grenswaarde van 40 dB(A) sluit dus aan bij nachtelijke grenswaarden in andere AMvB's, maar wijkt af van de richtwaarde van 30 dB(A) die de Handreiking Industrielawaai en Vergunningverlening (HI&V) geeft voor (stil) landelijk gebied. Door een nadere eis te stellen kan het bevoegd gezag wel een lagere grenswaarde verlangen dan die volgens de WNC. De MER Windenergie van de provincie Zeeland van juli 1998 vermeldt gemeten niveaus van het achtergrondgeluid in een aantal mogelijk voor windenergie geschikte gebieden in Zeeland. In de Hoofdplaatpolder is een achtergrondniveau van overdag 32 dB(A) bepaald. 's Avonds en 's nachts was het achtergrondniveau 28 resp. 27 dB(A), in overeenstemming met de karakterisering van stil platteland volgens de HI&V. Deze niveaus werden gemeten bij windsnelheden van 2 tot 4 m/s (op 5 m hoogte), hetgeen relevant is voor de situatie waarbij de atmosfeer (zeer) stabiel is.

#### *Bedrijfssituatie*

Volgens het Besluit Voorzieningen & Installaties milieubeheer 'kan elke windsnelheid aangemerkt worden als zijnde een afzonderlijk te beoordelen bedrijfssituatie met een aparte normwaarde en een apart te beoordelen geluidniveau' (toelichting Besluit, par. 5.1.3; het

<sup>1</sup> deze paragraaf is grotendeels overgenomen van het oorspronkelijke onderzoeksvoorstel (zie bijlage 3)

betreft hier de 10-m windsnelheid). Vervolgens kunnen we vaststellen dat in de nachtperiode de normen het laagst zijn, zodat het voldoen aan normen in de nachtperiode de strengste eisen oplegt. De nacht is hier de periode van 23:00 tot 7:00 uur.

Het Besluit V&Im veronderstelt impliciet dat een bepaalde 10-m windsnelheid eenduidig samenhangt met een immissieniveau bij die windsnelheid en dat daarbinnen dus geen (belangrijke) variatie is in de bedrijfssituatie. Deze bedrijfssituatie is in die opvatting dan ook de representatieve situatie (zie hieronder). In werkelijkheid is er echter bij één waarde van  $V_{10}$  een variatie aanwezig in immissieniveaus, die zeer groot kan zijn bij relatief lage windsnelheden  $V_{10}$  ( $< 6$  m/s), en veel kleiner bij hoge windsnelheden. Er is geen voorschrift hoe uit deze verschillende niveaus een beoordelingsniveau te bepalen, zodat nog bepaald moet worden hoe uit de verschillende geluidsniveaus die optreden een maatgevend geluidsniveau moet worden afgeleid. Maatgevend daarbij moet zijn de geluiduitstraling in de representatieve bedrijfssituatie.

#### *Representatieve bedrijfssituatie*

Volgens par. 5.3 van de Handreiking (HI&V) dienen de geluidsvoorschriften “(mede) te zijn afgestemd op de geluidsemissie die de inrichting onder normale omstandigheden veroorzaakt, veelal aangeduid als de ‘representatieve bedrijfssituatie (RBS)’”. Bij een veranderlijke geluidsuitstraling zal de RBS “betrekking hebben op een voor de geluidsuitstralende kenmerkende bedrijfsvoering *bij volledige capaciteit van de inrichting*” (par. 5.3; mijn cursivering). Bij hogere emissies dan die in de RBS, maar met een beperkte frequentie (maximaal één dag-, avond- of nachtperiode per week) kan, na bestuurlijke afweging, een hogere grenswaarde worden vastgelegd: “daarbij zal het feit of er in die situaties sprake is van hinder en zo ja, in welke mate en frequentie, een belangrijke rol spelen”. Tenslotte kan volgens de HI&V ontheffing worden verleend als zich maximaal 12 maal per jaar binnen steeds een etmaal bijzondere activiteiten (incidentele bedrijfssituaties) voordoen die niet tot de RBS worden gerekend (par. 5.3 HI&V).

De Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai van 1999 (HMRI99) stelt dat bij de RBS “de resultaten kenmerkend moeten zijn voor de geluidssituatie over een beoordelingsperiode” (par. 5.2 HMRI). De beoordelingsperiode “betreft in het algemeen de dag-, avond- en/of nachtperiode” (par. A-7.2.1); standaard worden hiervoor de etmaalperioden tussen 07:00 en 19:00 uur, 19:00 en 23:00 uur en 23:00 en 7:00 uur genomen.

Uit het voorgaande blijkt dat bij bedrijfslawaai de representatieve bedrijfssituatie, per etmaalperiode, door de hoogst optredende geluidsproductie wordt bepaald, waarbij verhogingen daarop door incidenten maximaal 12 dagen per jaar kunnen zijn toegestaan. Na bestuurlijke afweging kan ontheffing worden verleend voor een hogere emissie mits die hooguit éénmaal per week voorkomt. Toegepast op een windpark betekent dit dat het maximale niveau (per  $V_{10}$ -windsnelheidsklasse) maatgevend is, tenzij kan worden aangetoond dat de verhogingen incidenten zijn, bijvoorbeeld door weersomstandigheden die buiten het gebruikelijke patroon vallen. Het maximale niveau treedt op bij de hoogste windsnelheid op de rotor, dus bij maximale atmosferische stabiliteit. De stabiliteit kan

daarbij volgens Pasquill in klassen worden ingedeeld. Als representatieve bedrijfssituatie (RBS) geldt derhalve in elke bedrijfssituatie ( $V_{10}$ -windsnelheidsklasse) de hoogst mogelijke stabiliteitsklasse. Deze zijn weergegeven in tabel 5.

#### *Snelheid van variaties*

Uit de (op de hierboven genoemde wijze) vastgestelde gegevens kan bepaald worden wat per  $V_{10}$ -klasse de maximaal optredende immissieniveaus zijn en of zij eventueel als incidenteel kunnen worden aangemerkt (zo ja, dan wordt een maximum bepaald na verwijdering van de incidenten).

Het is gebruikelijk dat er over kortstondige variaties wordt gemiddeld. Wind varieert door turbulentie relatief sterk binnen een tijdsspanne van ca. 10 minuten, dus een middelingsperiode van minstens 10 minuten ligt tenminste voor de hand. Het lijkt redelijk een nog wat langere periode van 1 uur te nemen omdat verwacht mag worden dat er ook binnen een uur geen grote veranderingen zijn en bovendien weerstatistieken per uur het meest algemeen zijn. Een periode langer dan 1 uur is niet aan te bevelen omdat dan de kans op grotere variaties in windsnelheid weer begint toe te nemen en de gegevens dan niet meer in windsnelheidsklassen van 1 m/s zijn te groeperen.

In de RBS zullen de per uur gemiddelde geluidsniveaus binnen een etmaalperiode toch nog variëren door variaties in de windsnelheid en stabiliteit. In de RBS zal over deze variaties worden gemiddeld, zoals ook gebruikelijk bij ander bedrijfslawaai als het gaat om inherente variaties die niet geassocieerd kunnen worden als verschillende bedrijfssituaties.

Als een verhoging niet meer dan één keer per week voorkomt, dan kan het bevoegd gezag een hogere grenswaarde voorstellen dan de algemeen geldende geluidvoorschriften. Het is echter onwaarschijnlijk dat dit het geval is: door de afwisseling van hoge en lagedrukgebieden met een typische opvolgingstijd van enkele dagen tot een week zullen omstandigheden met een bepaalde geluidsbelasting zich vaak gedurende een aantal nachten voordoen, waarna dan weer verandering optreedt. Hoge geluidsniveaus zullen zich dus meestal niet beperken tot hooguit één nacht per week.

Overigens kan het bevoegd gezag ook een lagere grenswaarde vaststellen. Dat is, gezien het feit dat windparken vaak in een rustige plattelandsomgeving staan, niet ondenkbaar. De HI&V geeft als ‘mogelijke grenswaarde’ voor ‘stille landelijke gebieden’ voor de nachtperiode een waarde van 30 dB(A).

#### *Karakter geluid*

Windturbinegeluid kan met, name 's nachts, opvallen door een variatie in luidheid in het tempo waarmee bladen de mast passeren. Deze variatie is groter dan overdag en kan tot extra hinder leiden. Bij metingen kan worden vastgesteld of deze variatie voldoet aan de (beperkte) objectieve voorwaarden om geluid als impulsachtig te bestempelen, en aan de voorwaarde dat het karakter “duidelijk hoorbaar is op het beoordelingspunt” (HMRI par. A-2.3). Op grond van onderzoek [Van den Berg 2006] kan worden aangenomen dat het impuls karakter zich vooral zal voordoen bij grote verschillen in windsnelheid over de rotor, hetgeen zich voordoet bij een voldoende stabiele atmosfeer (in elk geval Pasquill klasse F).

In een Brits rapport werd geconcludeerd dat het deze variatie in het geluidsniveau is die op een drietal locaties nabij verschillende windparken klachten over hinder en slaapverstoring kon verklaren [Hayes 2006].

### *Beoordeling*

De uiteindelijke beoordelingsniveaus in de nachtperiode worden getoetst aan de hand van de WindNormCurve uit het Besluit Voorzieningen en Installaties Milieubeheer. Daarbij zal worden voldaan aan de algemene voorschriften die de HMRI99 stelt ter bepaling van het langtijdig beoordelingsniveau en wordt het overdrachtsmodel 'methode II.8' (HMRI hfdst. C-5) toegepast. De beoordeling in dit rapport berust op deze berekening: de uitgevoerde metingen zijn slechts bedoeld om de juistheid daarvan te ondersteunen.

### 4.3.2 METING GELUIDSNIVEAU

Bij de metingen worden de voorschriften voor immissiemetingen (methode II.1, HMRI hfdst. C-3) niet gevolgd wat betreft het voorschrift alleen te meten bij  $V_{10} = 7 \pm 2$  m/s (par. C-7.2). Dat voorschrift berust immers op het –juist bij hindersituaties- achterhaalde idee dat er bij weinig wind onvoldoende geluid zou zijn en bij hogere geluidsniveaus juist een sterke wind die teveel stoorgeluid zou veroorzaken. De resultaten van de geluidsmetingen worden evenwel niet gebruikt om de geluidsbelasting te bepalen, maar worden slechts vergeleken met de op correcte wijze verkregen geluidsbelasting; ze hoeven dus niet aan wettelijke eisen te voldoen, maar moeten ten behoeve van een goede vergelijking uiteraard wel de werkelijke immissie correct weergeven.

Bij het meten is niet altijd aan het gebruikelijke meteoraam voldaan gezien de grote afstand tussen de turbines, maar dat is volgens de HMRI99 geen noodzaak bij langdurige metingen: “Indien op een bepaalde meetpunt op willekeurige momenten zeer veel geluidsmetingen zijn verricht bij dezelfde representatieve bedrijfsomstandigheden onder allerlei weersomstandigheden, dan mogen deze resultaten direct energetisch worden gemiddeld. Er vindt dan geen meteocorrectie plaats. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan geluidsbewakingssystemen rond grote continu-industrieën. De volgende randvoorwaarden gelden hierbij (HMRI99 methode II.1, par. 3.6.1):

- aantal metingen is groter dan 10;
- tenminste 20% van de metingen vond plaats bij weersomstandigheden die aan het meteoraam industrielawaai voldeden;
- de windrichtingen tijdens de metingen zijn gelijkmatig over de windroos verspreid;
- stoorgeluid heeft de metingen niet beïnvloed.”

Overigens zijn de geluidsbronnen (vooral de wiektippen) zo hoog dat de windrichting weinig invloed heeft op de geluidsoverdracht naar omringende woningen. De meteocorrectie is bij de meetmast nihil en bij de beschouwde immissiepunten gering ( $< 0,5$  dB, behalve bij het verste punt IM1 Westlangeweg 11: 1,5 dB). Uiteraard is de meteocorrectie in de berekeningen van het beoordelingsniveau wel toegepast.

## 5 Door meting bepaalde geluidsbelasting

### 5.1 Uitgangspunten berekening geluidsimmissie

De berekening wordt uitgevoerd conform het geluidsoverdrachtsmodel Methode II.8 uit HMRI99. Voor de berekening worden de gegevens over de geluidsproductie gebruikt die zijn vermeld in tabellen 4 (spectrale verdeling) en 5 (totale bronsterkte). Verder worden voor de windturbines WT1 t/m WT5 en immissiepunten IM1 t/m IM11 de coördinaten gebruikt zoals vermeld in tabel 7 (Amersfoortcoördinaten volgens Rijksdriehoekstelsel). De coördinaten zijn bepaald met behulp van een nauwkeurige digitale kaart (resolutie  $\approx 1\text{m}$ ) en gecontroleerd met Google Earth luchtfoto's. Voor de windturbines is het centrum van de mast als locatie genomen, als immissiepunten bij de woningen een punt midden op de gevel die zich het dichtst bij het windpark bevindt.

De meetmast is tevens aangegeven, maar is geen beoordelingspunt. Tenslotte wordt uitgegaan van een vlakke, absorberende bodem en van een ontvangerhoogte van 5 m. Er is geen reflectie op gebouwen bij de immissiepunten.

### 5.2 Bronsterkte bepaald uit gemeten windsnelheid

De actuele bronsterkte (geluidsproductie) wordt berekend op grond van de gemeten windsnelheden. In principe kunnen deze berekend worden door m.b.v. van formule 2 eerst uit  $V_{10}$  en  $V_{28}$  de waarde van  $m$  te bepalen en vervolgens deze waarde te gebruiken om met dezelfde formule en een nu bekende  $m$  (en  $V_{10}$  of  $V_{28}$ ) de waarde van  $V_{80}$  te berekenen. Er is hier echter gebruik gemaakt van een preciezere benadering zoals gegeven door Holtslag [Holtslag 1984] welke op goed onderbouwde theorie berust en welke kan worden toegepast in een stabiele en neutrale atmosfeer.<sup>1</sup> De werkwijze om aldus  $V_{80}$  te bepalen is beschreven in bijlage 4. Daarbij worden alle waarden waarbij  $V_{10}$  en/of  $V_{28}$  kleiner dan 1 m/s waren weggelaten omdat de extrapolatie naar een windsnelheid op grotere hoogte dan met een grote onnauwkeurigheid gepaard kan gaan; dit is geen belangrijk verlies van data omdat een windturbine bij dergelijke lage windsnelheden meestal niet zal produceren. Met behulp van formule (3) kan vervolgens uit  $V_{80}$  de bronsterkte LW tijdens de 5-minuten meetperiode worden berekend, waarna het immissieniveau  $L_{eq,5min}$  kan worden berekend volgens methode II.8 van HMRI99.

De aldus per 5 minuten berekende immissie is vervolgens gemiddeld over opeenvolgende uren zodat er equivalente niveaus over 1 uur ontstaan:  $L_{eq,1h}$ . Omdat de windsnelheid en de stabiliteit binnen één uur kunnen variëren en dus niet altijd hetzelfde zijn binnen dat uur, zijn de 5-minuten meetblokken eerst verdeeld over de stabiliteitsklassen F, E en D. Als in een uur gedurende tenminste de helft van de tijd één stabiliteitsklasse voorkwam, dan is het  $L_{Aeq,1h}$  berekend door (energetische) middeling van de  $L_{eq,5min}$ -waarden van alléén de 5-minuten blokken van die klasse (de eventuele andere meetblokken in dat uur worden verder niet meegenomen). De bijbehorende over het uur gemiddelde windsnelheid  $V_{10}$  is eveneens bepaald uit alleen de meetblokken in de desbetreffende stabiliteitsklasse.

---

<sup>1</sup> Gebruik van formule 2 blijkt overigens tot vrijwel dezelfde resultaten te leiden

**Tabel 7: posities van windturbines en immissiepunten**

Turbines	x-coördinaat (km)	y-coördinaat (km)
WT1	31,551	377,759
WT2	31,453	377,461
WT3	32,492	376,996
WT4	32,393	376,7
WT5	32,297	376,416
Immissiepunten		
meetmast	32,631	376,704
IM1 Westlangeweg 11	33,311	377,52
IM2 Hogewegdijk 5	32,893	376,406
IM3 Hogewegdijk 9	32,774	376,052
IM4 Oranjedijk 27	32,227	375,945
IM5 Oranjedijk 29	32,084	376,076
IM6 Sasput 10	30,926	377,536
IM7 Kruisweg 6	31,787	376,813
IM8 Slijkplaat 4	30,817	377,905
IM9 Westlangeweg 14	32,191	377,898
IM10 Westlangeweg 15	31,278	378,191
IM11 Statendijk 12	31,081	377,150

*Figuur 20: overzicht locaties windturbines (wt#) en immissiepunten(IM#)*

Tenslotte worden de uurlijkse immissieniveaus per bedrijfstoestand (= windsnelheidsklasse) en stabiliteitsklasse samen genomen tot een langtijdgemiddeld beoordelingsniveau  $L_{Ari,LT}$  door alle waarden binnen een windsnelheidsklasse van 1 m/s (1 – 2, 2 – 3, 3 – 4 m/s, enz.) en van een bepaalde stabiliteitsklasse (energetisch) te middelen.

In feite zijn deze uitvoerige berekeningen gedaan voor alleen de locatie meetmast. Uit de berekening van de geluidsoverdracht blijkt dat er een vast verschil is tussen de immissieniveaus op verschillende immissiepunten. Bij bijvoorbeeld een beoordelingsniveau van 40 dB(A) ter plaatse van de meetmast ligt het beoordelingsniveau ter plaatse van immissiepunt 1 altijd 13,5 dB lager. Dit is onafhankelijk van de bronsterkte omdat een verandering daarin overal hetzelfde effect heeft, en onafhankelijk van de weersomstandigheden omdat daarover al gemiddeld is in de berekening. Men kan dus uit een geluidsniveau ter plaatse van de meetmast dat door berekening of meting bepaald is de overeenkomstige geluidsniveaus op andere punten verkrijgen door een constant verschil te verrekenen.

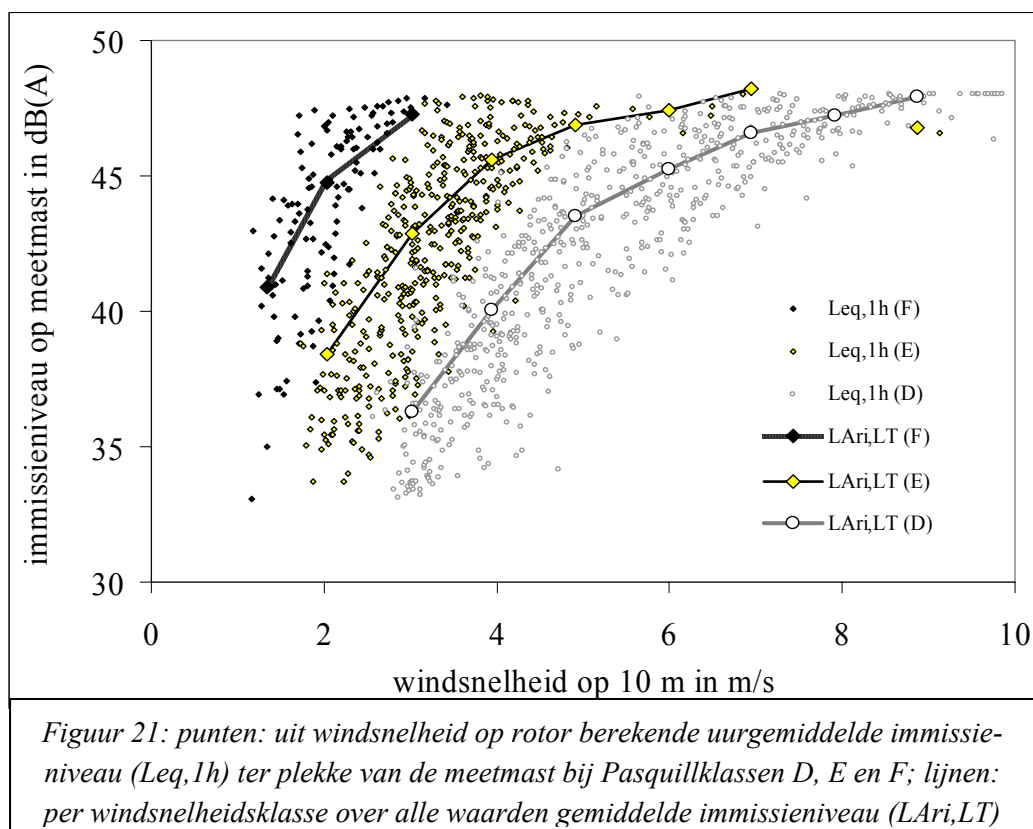
### 5.3 Immissieniveau bepaald uit gemeten windsnelheid

Van de in totaal 1566 uur meettijd in de nachtperiode was de atmosfeer gedurende 634 uur neutraal (D), 456 uur matig stabiel (E) en 140 uur zeer stabiel (F); in de resterende tijd (336 uur) kon dit, meestal door te lage windsnelheid, niet goed bepaald worden. De berekende waarden van het per uur gemiddelde immissieniveau  $L_{eq,1h}$  ter plaatse van de meetmast zijn gebaseerd op tenminste een half uur meettijd in dat uur, waarin de stabiliteit binnen één klasse bleef. Aldus zijn 648 waarden van het  $L_{eq,1h}$  verkregen in stabiliteitsklasse D, 440 uren in klasse E en 116 uren in klasse F. Deze waarden zijn geplot in figuur 21. Het blijkt dat bronsterkte bij elke windsnelheid  $V_{10} \geq 2$  m/s maximaal kan zijn en derhalve leiden tot het maximale immissieniveau bij de meetmast van 47 dB(A).

Verder zijn per stabiliteitsklasse en windsnelheidsklasse ( $V_{10}$  1 – 2, 2 – 3, 3 – 4 m/s, enz.) de berekende geluidsniveaus  $L_{eq,1h}$  ter plekke van de meetmast gemiddeld tot één waarde. De resulterende waarden zijn eveneens gegeven in figuur 21; voor een betere zichtbaarheid zijn de punten onderling verboden door lijnen.

De hoogste waarde van elk der drie lijnen in figuur 21 is het maatgevende geluidsniveau voor de nachtperiode. Aldus kan het maatgevende beoordelingsniveau  $L_{Ari,LT}$  per windsnelheidsklasse berekend worden voor alle immissiepunten (zie tabel 7 en figuur 20). Het resultaat van deze berekeningen is gegeven in tabel 8 en figuur 22. Daaruit blijkt dat op twee punten, IM5 (Oranjedijk 29) en IM7 (Kruisweg 6) de grenswaarde volgens de Windnormcurve (WNC) wordt overschreden.

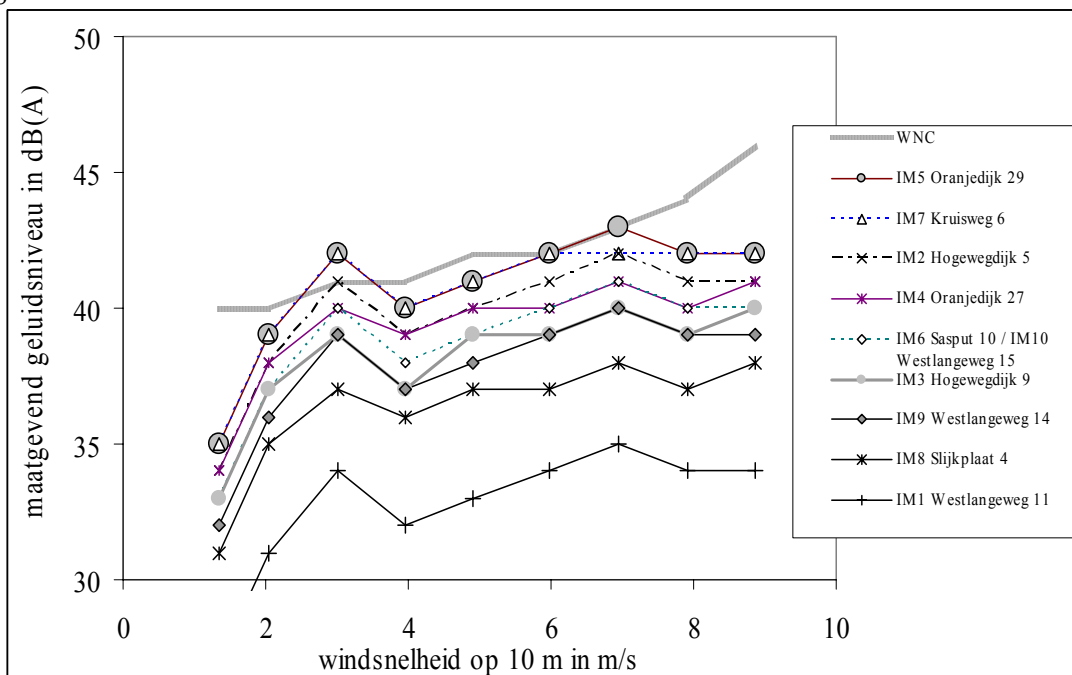
In figuur 23 zijn de berekende immissieniveaus ingetekend op een kaart van het gebied, in stappen van 5 dB en met een bronsterkte per turbine van 105 dB(A).



**Tabel 8: berekende immissieniveaus bij verschillende windsnelheden en een zo stabiel mogelijke atmosfeer (immissiepunten geordend naar immissieniveau)**

windsnelheid op 10 m hoogte in m/s	2	3	4	5	6	7	8
windsnelheid op 80 m hoogte in m/s in stabiele atmosfeer	6,3	9,4	8,3	10,4	8,2	9,6	10,9
grenswaarde (WNC)	40	41	41	42	42	43	44
immissiepunt	maatgevend immissieniveau in dB(A)						
IM5 Oranjedijk 29	35	<b>42</b>	40	42	40	42	43
IM7 Kruisweg 6	35	<b>42</b>	40	42	40	42	42
IM2 Hogewegdijk 5	34	41	39	41	39	41	42
IM4 Oranjedijk 27	33	40	39	41	39	41	41
IM11 Statendijk 12	33	40	39	41	40	42	43
IM6 Sasput 10	33	40	38	40	39	40	41
IM10 Westlangeweg 15	33	40	38	40	38	40	40
IM3 Hogewegdijk 9	32	39	38	40	38	39	40
IM9 Westlangeweg 14	32	39	37	39	37	39	40
IM8 Slijkplaat 4	30	37	36	38	36	38	38
IM1 Westlangeweg 11	27	34	32	34	32	34	35





Figuur 22: berekende geluidsniveaus als functie van de windsnelheid op 10 m hoogte en bij een (zeer) stabiele atmosfeer op negen immissiepunten, alsmede de grenswaarde volgens de WindNormCurve



Figuur 23: geluidscontouren rond windpark bij een bronsterkte per turbine van 105 dB(A); diit is het maatgevende geluidsniveau bij  $V_{10} = 5$  m/s zonder impulsstoeslag

Het karakter van het geluid is door ons niet vastgesteld. Uit waarnemingen van bewoners blijkt dat het geluid bij weinig of geen wind aan de grond en tegelijkertijd een hoog toerental van de windturbines (dus in een stabiele atmosfeer) gekenmerkt wordt door een duidelijk merkbare variatie aangeduid als ‘slaan’ of ‘klappen’. Het geluid komt overeen met een herhaald impulsachtig geluid, en eerder is aangetoond dat dat verklaard kan worden door grote snelheidsverschillen over de rotor [Van den Berg 2006; zie 4.3.1 hierboven]. Als geluid als impulsachtig wordt gekenmerkt, dan moet een toeslag worden toegepast op het geluidsniveau van +5 dB.

Het impulsachtige karakter doet zich het sterkste voor bij weinig wind aan de grond en een hoog toerental van de turbines. In de praktijk doet zich dit voor in een zeer stabiele atmosfeer bij een windsnelheid op ashoogte van 9 tot 10 m/s.

In tabel 9 is het maatgevende geluidsniveau bij een windsnelheid van 3 m/s op 10 m hoogte en in een zeer stabiele atmosfeer weergegeven inclusief de impulstoetslag; in dit geval wordt op alle immissiepunten behalve Westlangeweg 11 de WNC overschreden.

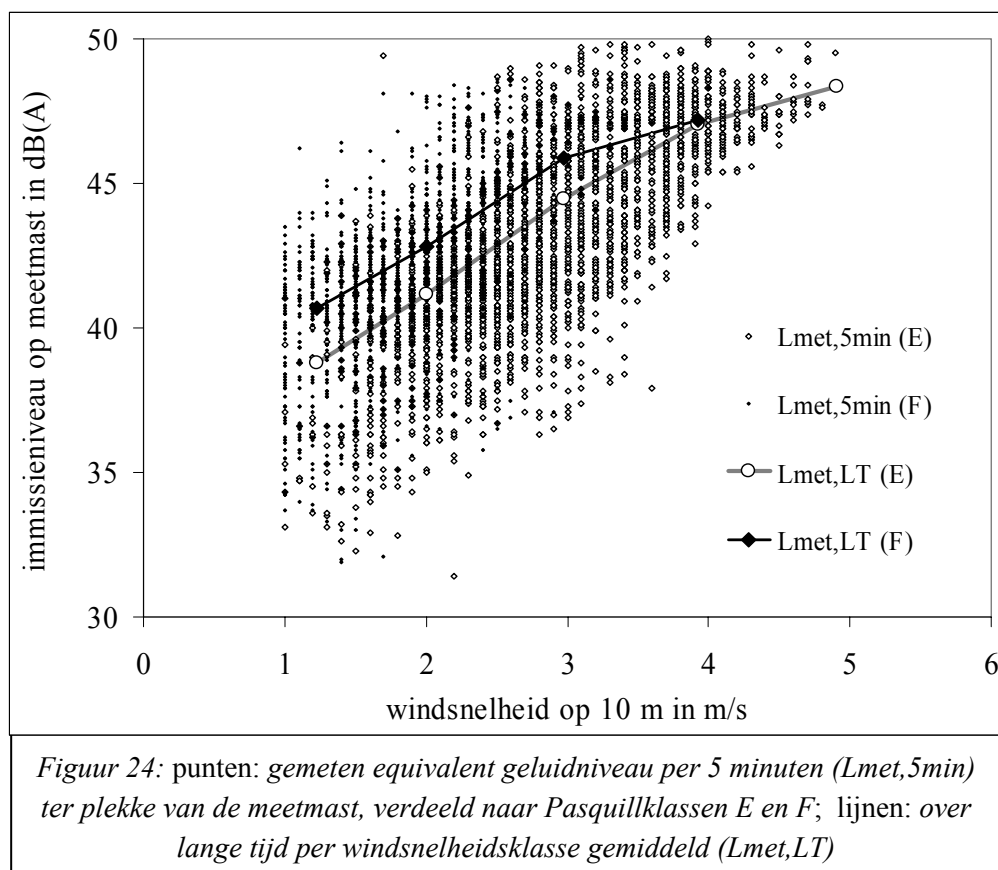
<b>Tabel 9: immissieniveaus inclusief impulstoetslag in zeer stabiele atmosfeer bij hoge windsnelheid op de rotor (immissiepunten geordend naar immissieniveau)</b>	
windsnelheid op 10 m hoogte in m/s	3
windsnelheid op 80 m hoogte in m/s	9,4
grenswaarde (WNC)	41
IM5 Oranjedijk 29	<b>47</b>
IM7 Kruisweg 6	<b>47</b>
IM2 Hogewegdijk 5	<b>46</b>
IM4 Oranjedijk 27	<b>45</b>
IM11 Statendijk 12	<b>45</b>
IM6 Sasput 10	<b>45</b>
IM10 Westlangeweg 15	<b>45</b>
IM3 Hogewegdijk 9	<b>44</b>
IM9 Westlangeweg 14	<b>44</b>
IM8 Slijkplaat 4	<b>42</b>
IM1 Westlangeweg 11	39

## 5.4 Vergelijking meting en berekening

### 5.4.1 RESULTATEN VAN METINGEN BIJ MEETMAST

In paragraaf 3.4 zijn in figuur 15 de gemeten geluidsniveaus gepresenteerd waarbij de meetdata waren geselecteerd op tijd (23:00 tot 7:00 uur) en een voldoende mate van atmosferische stabiliteit ( $m > 0,25$ ), en aanvullend op een beperkte spreiding ( $L5 - L95 \leq 4$  dB). De aldus geselecteerde equivalente geluidsniveaus per 5 minuten zijn nogmaals gepresenteerd in figuur 24, waarbij een onderscheid is gemaakt naar de mate van stabiliteit: stabiliteitsklasse F ( $m \geq 0,45$ ) en E ( $0,25 \leq m < 0,45$ ).

Uit de 5-minuten waarden kan het per windsnelheidsklasse over lange tijd gemiddelde geluidsniveau  $L_{met,LT}$  worden berekend: dat is het (energetisch) gemiddelde van alle gemeten 5-minuten waarden ( $L_{met,5min}$ ) in de betreffende windsnelheidsklasse en in stabiliteitsklasse E of F. Ook deze waarden zijn in figuur 24 geplot (grote punten verbonden door lijnen).

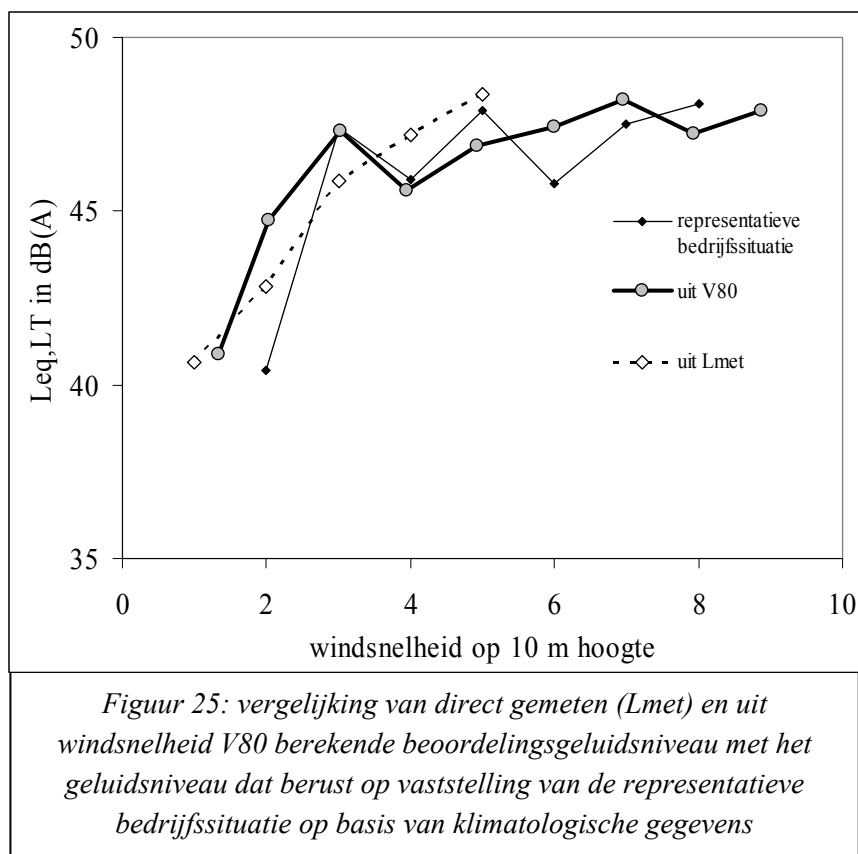


Het langtijdgemiddelde beoordelingsniveau zoals bepaald uit de windsnelheidsmetingen bij de meetmast (zie 4.3.3 hierboven) zou overeen moeten komen met per windsnelheidsklasse de hoogste van de twee langtijdgemiddelde waarden uit figuur 24. Uiteraard is niet zeker of elke meetwaarde die aan dat langtijdgemiddelde heeft bijgedragen inderdaad het gevolg is van alléén het windpark: het geluid kan enig stoorgeluid bevatten, maar ook hebben de windturbines niet voortdurend alle gefunctioneerd. Desalniettemin kunnen we deze uit

directe meting verkregen geluidsniveaus vergelijken met de eerder verkregen niveaus: het langtijdgemiddelde beoordelingsniveau verkregen uit de gemeten windsnelheden op de rotor (figuur 21, langtijdgemiddelde waarde van hoogste stabiliteitsklasse) en het op klimatologische gegevens en meer theoretische gronden bepaalde maatgevende geluidsniveau voor de representatieve bedrijfssituatie (bronsterkten conform tabel 5).

Het resultaat is gegeven in figuur 25. Het blijkt dat het geheel op theoretische gronden berekende niveau in de representatieve bedrijfssituatie en het op grond van gemeten windsnelheden berekende niveau onderling gemiddeld slechts 0,6 dB afwijken met een spreiding (standaarddeviatie van afzonderlijke verschillen) van 1,9 dB, hetgeen wijst op correcte onderliggende theorieën. Laten we de waarden bij 2 m/s buiten beschouwing, dan is de gemiddelde afwijking tussen de theoretische voorspelling en de waarden volgens de geluidsmetingen nihil met een gemiddelde afwijking van 1,0 dB. Men kan in figuur 25 constateren dat de daling die rond 3 m/s optreedt bij toenemende windsnelheid volgens de klimatologische voorspelling ook optreedt bij het op de actuele windmetingen gebaseerde geluidsniveau.

Ook de verschillen tussen de uit de windmetingen afgeleide en direct door geluidmeting bepaalde langtijdgemiddelde immissieniveaus zijn relatief gering: gemiddeld 0,1 dB met een spreiding van 1,6 dB. Dit wijst er (weer) op dat het mogelijk is de geluidimmissie van een windpark bij stabiele atmosferische omstandigheden door directe meting te bepalen. Omdat de meetmast formeel geen beoordelingspunt is worden de hier gegeven waarden van deze locatie niet getoetst aan de WNC.



### 5.4.2 RESULTATEN METINGEN SPA

Adviesbureau Schoonderbeek en Partners Advies bv heeft in opdracht van de gemeente Sluis een aantal metingen verricht in de nabijheid van het windpark Hoofdplaatpolder. In het eerste rapport [SPA 2005] werden veel metingen beïnvloed door stoorlawaaï, waaronder ruisende bomen. Bij enkele metingen is evenwel aangegeven dat de windturbines duidelijk hoorbaar waren terwijl er geen of nauwelijks geruis van bomen/gewassen hoorbaar was; de resultaten daarvan zijn vermeld in tabel 10. Daaraan zijn resultaten toegevoegd uit een volgend rapport van SPA een jaar later [SPA 2006]. Verder is in de tabel vermeld wat het berekende geluidsniveau zou zijn bij een windsnelheid  $V_{10}$  (op 10 m hoogte) van 7 m/s, alsmede het berekende geluidsniveau met bronsterkten die volgens de fabrikant optreden in een neutrale atmosfeer bij de gemeten, actuele windsnelheden  $V_{10}$  (zie tabel 4).

**Tabel 10: meetresultaten SPA**

woning/ rekenpunt	datum	windturbines hoorbaar?	Ander geruis hoorbaar?	$V_{10}$ (m/s)	gemeten Leq dB(A)	berekend Leq bij 7 m/s dB(A)	berekend Leq bij actueel $V_{10}$ dB(A)
2005							
Statendijk 12	13-5	zeer duidelijk	nauwelijks	4,8 - 5,5	43,9	42,6	34,7
Oranjedijk 31	13-5	duidelijk	geen	5,0	42,8	42,4	34,5
Oranjedijk 31	17-5	duidelijk	geen	4,7	44,5	42,4	34,5
2006							
Oranjedijk 29	25-7	gecorrigeerd voor ruis		5	41,0	44,2	36,1
Hogedijk 5	26-7	gecorrigeerd voor ruis		3	36,9	43,8	Nihil
Sasput 10	26-7	gecorrigeerd voor ruis		3	34	42,8	Nihil

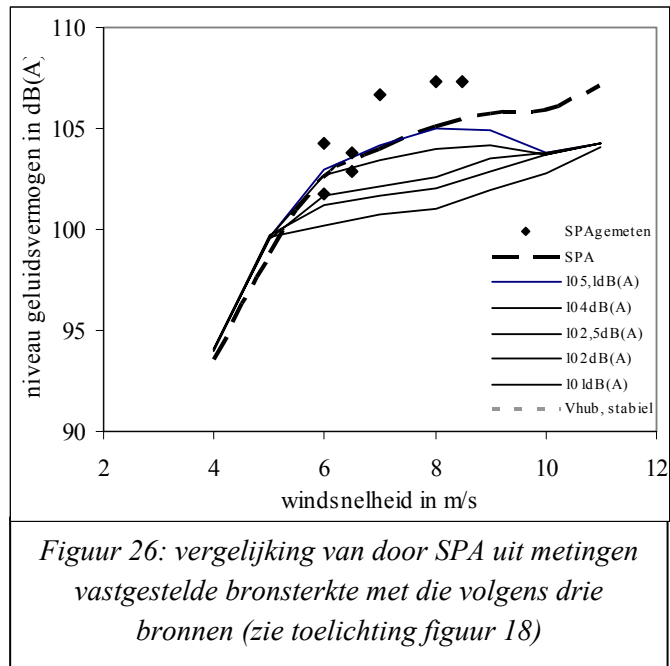
Als men per meetlocatie de verschillende geluidsniveaus in tabel 10 met elkaar vergelijkt, dan valt op dat de gemeten waarden aanmerkelijk hoger liggen dan verwacht wordt op grond van de actuele waarde van het  $V_{10}$ . Verder zijn de gemeten geluidsniveaus in 2005, bij Statendijk 12 en Oranjedijk 31, hoger dan waarden die bij aanzienlijk meer wind zouden optreden. Kortom, er treden geluidsniveaus op die hoger zijn dan verwacht. Bij de woningen waar in 2005 is gemeten treedt in alle gevallen (van tabel 9) een overschrijding op van de grenswaarde volgens de Windnormcurve (42 dB(A) bij 5 m/s), maar die overschrijding wordt weggeredeneerd door de door SPA geponeerde meetonnauwkeurigheid van  $\pm 2$  dB. SPA legt die onnauwkeurigheid op één manier uit, namelijk dat de juiste waarde 2 dB lager is dan de gemeten waarde. Dat de juiste waarde ook 2 dB *hoger* had kunnen zijn wordt verzwegen. In dat laatste geval zou de overschrijding juist hoger zijn, namelijk tot 4,5 dB.

In [SPA 2005] worden de resultaten van emissiemetingen gegeven, waaruit blijkt dat de bronsterkte bij 7 m/s windsnelheid (op 10 m hoogte) gelijk is aan 106,7 dB(A) met een nauwkeurigheidsmarge van  $\pm 2$  dB. Volgens de leverancier zou het echter  $104,1 \pm 2$  dB(A)

zijn. De conclusie van SPA is: “binnen de nauwkeurigheid van het onderzoek komen beide waarden juist met elkaar overeen”. De conclusie moet echter zijn dat de waarden elkaar binnen de meetnauwkeurigheid weliswaar voor een beperkt deel overlappen, maar dat de kans aanzienlijk groter is dat ze *niet* overeenkomen doordat ze meer dan een standaarddeviatie uiteen liggen. Immers, de kans dat de juiste waarde boven de 106,7 dB(A) ligt is 50% op basis van de SPA-waarde. De kans echter dat SPA een te hoge waarde heeft gevonden en tegelijk de leverancier een te lage waarde is aanmerkelijk minder dan 50%.

In 2006 bepaalde SPA opnieuw uit ‘emissiemetingen’ de bronsterkte en komt daarbij op waarden die in figuur 26 zijn weergegeven (hier inclusief de waarde uit 2005). Deze waarden blijken soms goed overeen te komen met die volgens de fabrikant, maar bij vier van de zeven waarden komt SPA ca. 2 dB hoger uit.

Men kan dus concluderen dat SPA door meting heeft aangetoond dat er inderdaad hogere niveaus voorkomen dan is voorspeld: zowel hogere bronsterkten als hogere immissie-niveaus. Door de meetonnauwkeurigheid selectief te gebruiken is deze bevinding echter uit het zicht verdwenen.



*Figuur 26: vergelijking van door SPA uit metingen vastgestelde bronsterkte met die volgens drie bronnen (zie toelichting figuur 18)*

## 6 CONCLUSIES

### *Oorzaak hoger geluidsniveau*

Bij onderzoek naar de geluidsbelasting van windturbines wordt gewoonlijk (impliciet) uitgegaan van een neutrale atmosfeer waarin een vaste relatie is tussen de algemeen als referentiewaarde gebruikte windsnelheid op 10 m hoogte en de windsnelheid op de rotor van de turbine.

Omdat de geluidsbelasting 's nachts strenger wordt beoordeeld dan overdag, is bij windturbines de nachtperiode maatgevend. In de nacht is echter de atmosfeer niet altijd neutraal, maar vaak stabiel. In een stabiele atmosfeer is de windsnelheid op grote hoogte groter dan verwacht in een neutrale atmosfeer met als gevolg dat een windturbine meer geluid produceert dan verwacht. Volgens de hier relevante Nederlandse regelgeving (Besluit Voorzieningen en Installaties Milieubeheer) moet de geluidsbelasting worden getoetst aan grenswaarden die gekoppeld zijn aan de windsnelheid op 10 m hoogte.

### *Optreden van stabiele atmosfeer*

In dit rapport is eerst onderzocht hoe vaak de atmosfeer bij windpark Hoofdplaatpolder stabiel is. Dit is gedaan op grond van zowel windmetingen van het KNMI bij de drie nabije meetstations Cadzand, Hoofdplaat en Vlissingen, als van eigen metingen in de Hoofdplaatpolder. Bij de eigen metingen, uitgevoerd in het tijdvak april tot december 2006, gaat het om wind en temperatuur op twee hoogten (28 en 10 m resp. 28 en 4 m) en het geluidniveau.

Het blijkt dat stabiliteit in het gebied een normaal verschijnsel is, en dat deze –zoals verwacht– vaker voorkomt bij wind van land dan bij wind van zee. Uit langjarige waarnemingen van het KNMI blijkt dat de atmosfeer bij Vlissingen 15% van de totale tijd (26% van de uren tussen zonsondergang en zonsopgang) stabiel is. Een vrijwel gelijk percentage is gevonden in de eigen metingen (13,5%). Een stabiele atmosfeer komt zo vaak voor dat deze als maatgevende toestand moet worden beschouwd voor de geluidsbelasting.

Uit de metingen blijkt tevens het verwachte verband tussen enerzijds de verhouding van windsnelheid op verschillende hoogten en anderzijds de afkoeling/opwarming van de bodem die inderdaad de oorzaak is van de dagelijkse gang in atmosferische stabiliteit.

### *Relevante windsnelheid en bronsterkte*

Met behulp van gegevens van de fabrikant over de geluidsproductie (bronsterkte) van de Vestas V80-2MW windturbines en van de windsterkte op ashoogte kan berekend worden wat de geluidimmissie is bij omwonenden. Daartoe is het nodig de windsnelheid op ashoogte te bepalen, hetgeen mogelijk is door bij elke stabiliteitsklasse uit te gaan van de in die klasse geldende verhouding tussen de windsnelheid op ashoogte en de windsnelheid op 10 m hoogte. Die verhouding is hoog als de atmosfeer matig tot zeer stabiel is en daalt naarmate de windsnelheid toeneemt omdat daardoor de stabiliteit vermindert. In tabel 11 hieronder (overgenomen van tabel 5) is aangegeven wat de windsnelheid op ashoogte en de resulterende bronsterkte is gegeven de windsnelheid op 10 m hoogte en de mate van stabiliteit. Onder 'stabiele atmosfeer' is de hoogste mate van stabiliteit vermeld die kan voorkomen en die maatgevend is voor de beoordeling van de geluidsbelasting. Uit de tabel

blijkt wat voor omwonenden van vele windparken duidelijk is: in een stabiele atmosfeer (hooguit ten dele bewolkt, weinig wind aan de grond terwijl er overdag wel een tenminste matige wind was) kunnen windturbines 's nachts evenveel geluid produceren als bij krachtige wind overdag. Het is van belang dat de grenswaarden daarbij niet hetzelfde zijn.

**Tabel 11: windsnelheden en bijbehorende bronsterkten van een Vestas V80-2MW windturbine op 10 en 80 m hoogte in een neutrale en stabiele atmosfeer**

windsnelheid op 10 m hoogte	m/s	2	3	4	5	6	7	8
neutrale atmosfeer								
windsnelheid op 80 m hoogte	m/s	2,7	4,1	5,5	6,8	8,2	9,6	10,9
bronsterkte	dB(A)	-	-	93,6	99,2	102,6	104,3	104,9
stabiele atmosfeer								
windsnelheid op 80 m hoogte	m/s	6,3	9,4	8,3	10,4	8,2	9,6	10,9
bronsterkte	dB(A)	97,2	104,2	102,7	104,7	102,6	104,3	104,9

#### *Berekeningsmethode*

Met behulp van de bronsterkten in tabel 11 kan met het in Nederland gehanteerde rekenmodel (overdrachtsmodel volgens methode II.8 van de Handleiding Rekenen en Meten Industrielawaai 1999) het langtijdgemiddeld beoordelingsniveau per windsnelheidsklasse berekend worden. Omdat overdag een hoger niveau is toegestaan dan 's nachts, is het niveau 's nachts maatgevend. De beoordeling berust op het tijdvak april – december 2006, in welke periode elke vijf minuten de gemiddelde windsnelheid op 10 en 28 m hoogte is bepaald. Daaruit kan de windsnelheid op ashoogte van de windturbines (78 m) worden berekend waarmee de bronsterkte direct samenhangt (zie tabel 11). Uit de aldus per 5 minuten bepaalde bronsterkte kan de immissie  $L_{eq,5min}$  worden berekend met behulp van bovengenoemd overdrachtsmodel. Tegelijk is uit de metingen ook de mate van stabiliteit bekend. Met behulp van deze waarden is het immissieniveau per uur bepaald in elke 's nachts voorkomende stabiliteitsklasse (Pasquill klassen D, E en F) door middeling over alle 5-minuten waarden die in die stabiliteitsklasse vallen; voorwaarde is dat in het uur minstens de helft van de tijd de stabiliteitsklasse hetzelfde was (waarden bij andere klassen werden dan niet gebruikt). Uit deze uurgemiddelde geluidsniveaus is tenslotte het langtijdgemiddeld beoordelingsniveau bepaald door per windsnelheidsklasse (1 - 2, 2 - 3, 3 - 4 m/s, enz.; dit betreft de wind op 10 m hoogte) alle in die klassen voorkomende waarden te middelen.

#### *Maatgevende geluidsbelasting of langtijdgemiddeld beoordelingsniveau*

De berekening als hiervoor beschreven is uitgevoerd voor immissiepunten in de omgeving rond het windpark, op een waarneemhoogte van 5 m en zonder invloed van reflectie op gebouwen: men verkrijgt dan de maatgevende geluidsbelasting op de gevel op



slaapkamerhoogte ofwel het langtijdgemiddeld beoordelingsniveau voor de nachtperiode. Het resultaat voor de tien onderzochte woningen is gegeven in tabel 12 (overgenomen van tabellen 8 en 9). De maatgevende immissieniveaus zijn hierin afgerond op gehele getallen en het resulterende beoordelingsniveau is **vet** gedrukt als er sprake is van overschrijding van de grenswaarden volgens de Windnormcurve.

<b>Tabel 12: beoordelingsniveaus bij verschillende windsnelheden en zo stabiel mogelijke atmosfeer (immissiepunten geordend naar immissieniveau)</b>							
windsnelheid op 10 m hoogte in m/s	2	3	4	5	6	7	8
grenswaarde (WNC)	40	41	41	42	42	43	44
Immissiepunt	maatgevend immissieniveau <sup>1</sup> in dB(A)						
IM5 Oranjedijk 29	35	<b>42 (+5)</b>	40	42	40	42	43
IM7 Kruisweg 6	35	<b>42 (+5)</b>	40	42	40	42	42
IM2 Hogewegdijk 5	34	41 (+5)	39	41	39	41	42
IM4 Oranjedijk 27	33	40 (+5)	39	41	39	41	41
IM11 Statendijk 12	33	40 (+5)	39	41	40	42	43
IM6 Sasput 10	33	40 (+5)	38	40	39	40	41
IM10 Westlangeweg 15	33	40 (+5)	38	40	38	40	40
IM3 Hogewegdijk 9	32	39 (+5)	38	40	38	39	40
IM9 Westlangeweg 14	32	39 (+5)	37	39	37	39	40
IM8 Slijkplaat 4	30	37 (+5)	36	38	36	38	38
IM1 Westlangeweg 11	27	34 (+5)	32	34	32	34	35

<sup>1</sup>: (+5): een toeslag van +5 dB wordt toegepast als het geluid impulsachtig is

#### *Vergelijking met uit klimatologische gegevens berekende geluidsniveaus*

De representatieve bedrijfssituatie per bedrijfstoestand (= windsnelheidsklasse) wordt bepaald door de hoogst voorkomende atmosferische stabiliteit in die windsnelheidsklasse (op 10 m hoogte). Bij die stabiliteit kan de windsnelheid op 80 m ashoogte worden berekend en daaruit de bronsterkte van de turbines en het immissieniveau op punten in de omgeving. Het resultaat daarvan werd gepresenteerd in tabel 5 (maatgevende bronsterkten; zie ook tabel 11) en in figuur 25 (immissie ter plekke van meetmast). Het aldus klimatologisch bepaalde maatgevende geluidsniveau ligt gemiddeld binnen 1 dB van het uit meetgegevens berekende immissieniveau ter plaatse van de meetmast.

#### *Vergelijking met gemeten geluidsniveaus*

De op de meetmast gemeten geluidsniveaus bevatten alle omgevingsgeluid, dus niet alleen van de windturbines. Echter, bij stabiele weersomstandigheden 's nachts, als er weinig

wind is en weinig omgevingsgeluid en de windturbines de dominante geluidsbron vormen, bestaat het gemeten niveau vooral uit het geluid van de windturbines. Deze omstandigheden kunnen uit de metingen geselecteerd worden door te selecteren op nachturen (23:00 - 7:00 uur), een voldoende stabiele atmosfeer ( $m > 0,25$ ) en een windsnelheid op ashoogte waarbij de windturbines produceren. Vervolgens kunnen tijden dat het windturbinegeluid dominant is worden geselecteerd door de spreiding in het geluidsniveau te beperken ( $L5 - L95 \leq 4$  dB) zodat alleen betrekkelijk constante geluidsbronnen een rol kunnen spelen. Het resultaat hiervan werd gepresenteerd in de figuren 15 en 24. De meetwaarden kunnen weer per windsnelheidsklasse worden gemiddeld en leveren dan een geluidsniveau dat overeen komt met het langtijdgemiddelde beoordelingsniveau. Ook hier geldt dat dat beoordelingsniveau gemiddeld binnen 1 dB ligt van het uit de gemeten windsnelheden berekende immissieniveau ter plaatse van de meetmast (figuur 25).

De resultaten op basis van de metingen tonen aan dat:

- 1) het theoretische, op grond van klimatologische gegevens berekende beoordelingsniveau op juiste veronderstellingen berust;
- 2) in geselecteerde omstandigheden bij zwakke en matige wind het geluid van het windpark goed gemeten kan worden;
- 3) metingen ter controle of handhaving uitgevoerd kunnen worden door de actuele windsnelheid op ashoogte te bepalen en daarmee de geluidsimmissie te berekenen.

De overeenkomsten tussen alle benaderingen om een over lange tijd gemiddeld geluidsniveau te bepalen zijn uitstekend (binnen 1 dB).

#### *Aard van het geluid*

Het karakter van het geluid is niet onderzocht, maar kan van groot belang zijn bij de beoordeling van het geluid. Uit eerder onderzoek blijkt windturbinegeluid hinderlijker is dan even luid geluid van wegverkeer. Als verklaring daarvoor is gegeven dat het modulerende geluid ('stampen' of 'slaan' in het ritme van de wieken) windturbinegeluid extra hinderlijk maakt. Dit komt vooral 's nachts voor als de atmosfeer (zeer) stabiel is. Het is niet duidelijk in welke mate dat bijdraagt aan de hinderlijkheid van het geluid van het windpark Hoofdplaatpolder, omdat dat ander onderzoek vergt. Als het geluid als impulsachtig kan worden gekenmerkt, dan moet er bij de immissieniveaus, in elk geval bij hoge atmosferische stabiliteit en bij hoog toerental, nog een toeslag van 5 dB worden opgeteld voor de waarden vergeleken worden met de grenswaarden. In dat geval zouden de grenswaarden in elk geval bij  $V_{10} \approx 3$  m/s en stabiliteitsklasse F overschreden worden op alle genoemde immissiepunten met uitzondering van punt IM1.

Het windturbinegeluid, met in de nabije omgeving een immissieniveau van meestal meer dan 35 dB(A) en vaak meer dan 40 dB(A), zal in de nachtelijke uren in de overigens stille landelijke omgeving dominant zijn. Bij hoge atmosferische stabiliteit bestaat het achtergrondgeluid dan alleen maar uit dat windturbinegeluid. Bij een geopend raam in een naar het windpark gekeerde gevel kan het ook in een stille slaapkamer hoorbaar zijn. In tegenstelling tot de Handreiking Industrielawaai en Vergunningverlening, die voor een

nachtelijke grenswaarde in een landelijke omgeving een richtwaarde van 30 dB(A) aanbeveelt, is de grenswaarde voor windparken tenminste 40 dB(A) tenzij een nadere eis word gesteld.

### *Slotsom*

Uit de vaststelling van het beoordelingsniveau en uit vergelijking daarvan met over lange tijd gemeten waarden blijkt dat er een overschrijding is van het maximaal toelaatbare geluidniveau bij de woningen Oranjedijk 29 en Kruisweg 6.

Als ook een toeslag voor fluctuerend of impulsachtig geluid wordt toegepast, hetgeen optreedt bij een zeer stabiele atmosfeer en hoog toerental, dan wordt het maximaal toelaatbare geluidniveau op vrijwel alle nabije woningen overschreden.

## REFERENTIES

G.P. van den Berg (2004): “Windturbines: een verschil van dag en nacht”, Geluid 27 (1), pp. 14-18

G.P. van den Berg (2006): The sounds of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise, proefschrift Rijksuniversiteit Groningen. De onderzoeks-hoofdstukken zijn inmiddels alle gepubliceerd in wetenschappelijke tijdschriften.

G.P. van den Berg (2007): Het geluidsritme van windturbines, Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde 73 (5), pp. 140-143

EPA (2000): Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, rapport EPA-454/R-99-005

HMK: Project West Wind – Wind farm noise impact assessment, HayesMcKenzie Partnership, rapport 1610-R1 (ongedateerd)

M. Hayes (2006): The measurement of low frequency noise at three UK wind farms, Hayes Mckenzie Partnership Ltd and the Department of Transport and Industry, UK

A.A.M. Holtslag (1984): Estimates of diabatic wind speed profiles from near-surface weather observations, Boundary-Layer Meteorology 29, pp. 225–250

KNMI (1972): Klimatologische gegevens van Nederlandse station no.8: frequentie-tabellen van de stabiliteit van de atmosfeer, KNMI, De Bilt

KNMI (2000): Roughness maps of the Netherlands, te downloaden van <http://www.knmi.nl/samenw/hydra>

G. Sinden (2007): Characteristics of the UK wind resource: Long-term patterns and relationship to electricity demand, Energy Policy Vol. 35 (1), pp. 112-127

SPA (2005): Gemeente Sluis: Windturbines Hoofdplaatpolder, Schoonderbeek en Partners Advies bv, rapport nr. 05.121.R01, er zijn (gelijke?) versies van 29 juli 2005 en 21 september 2005

SPA (2006a): Gemeente Sluis: Geluidsmetingen windturbines Hoofdplaatpolder - Tussenrapportage, Schoonderbeek en Partners Advies bv, rapport nr. 05.416.R01, 7 juli 2006

SPA (2006b): Gemeente Sluis: Geluidsmetingen woningen Hoofdplaatpolder (aanvulling op rapport 05.416.R01), Schoonderbeek en Partners Advies bv, rapport nr. 05.416.N01, 15 augustus 2006

Vestas (2004): Vestas R&D department (rapport nummer 944406.12 dd. 15-01-2004)

J. Wieringa en P.J. Rijkoort (1983): Windklimaat van Nederland, Staatsuitgeverij, den Haag

## **BIJLAGEN:**

- 1: Meetapparatuur
- 2: Pasquill klassen
- 3: Oorspronkelijk onderzoeksvoorstel
- 4: Berekening windprofiel



## Bijlage 1: Meetapparatuur<sup>1</sup>

### OPSLAG MEETGEGEVENS

Om de gegevens vast te leggen is de Eko21 datalogger van Ekopower gebruikt. Deze datalogger is speciaal ontworpen voor meteorologische metingen en maakt gebruik van een Compact Flash kaart om de gegevens die door de sensoren worden gemeten op te slaan. De datalogger is ingesteld om elke seconde een samplewaarde te nemen, en elke twee seconden een gemiddelde waarde van het aantal gemeten samplewaarden (in dit geval 2) vast te leggen; voor de windvanen worden polaire gemiddelden opgeslagen. Voor de thermometers en geluidsmeter wordt geen gemiddelde maar de actuele (= laatst gemeten) meetwaarde opgeslagen.

De kanaalindeling van de datalogger is als volgt:

- Windsnelheid 1 (V10)
- Windsnelheid 2 (V28)
- Windrichting 1 (D10)
- Windrichting 2 (D28)
- Temperatuur 1 (T2)
- Temperatuur 2 (T28)
- DC signaal geluidsmeter (U)

De datalogger wordt gevoed door een 12V accu van 75 Ah, waarmee de datalogger  $\pm 300$  dagen gevoed kan worden.

#### *Windsnelheid*

De windsnelheid is gemeten met MAX40+ windsnelheidsmeters. Deze meters zijn getest tot aan windsnelheden van 97 m/s en een temperatuurbereik van -50 °C tot +65 °C, en hebben een resolutie van 0,05 m/s. De meters zijn gekalibreerd door de leverancier en garanderen een maximale afwijking van 0.2 m/s. Op de meetmast zijn twee van deze meters geplaatst, waarvan één op 10 en één op 27,75 meter hoogte.

#### *Windrichting*

De windrichting is gemeten met DIR21+ windvanen. Deze meters hebben een bereik van 0° tot 360° waarbij 0° (en tevens 360°) gelijk is aan het noorden. De windvanen zijn gekalibreerd door de leverancier en garanderen een maximale afwijking van + of - 3°. Op de meetmast zijn twee windvanen geplaatst waarvan één op 10 en één op 27,75 meter hoogte.

#### *Temperatuur*

De temperatuur is gemeten met TS21 chip thermistoren. Deze zijn geplaatst op 2,1 en 27,6 meter hoogte.

---

<sup>1</sup> Deze bijlage is deel van het verslag dat Christiaan Kroese van de Hanzehogeschool Groningen in 2006 maakte van zijn stage bij de NW

### *Geluid*

Het geluidniveau is gemeten met een klasse 1 Precision integrating sound level meter type 2230 van Brüel & Kjær. De meter is ingesteld op het meten van het momentane geluidsdrukkniveau met een resolutie van 0,1 dB en een bereik van 30 tot 90 dB. De gemeten waarden worden opgeslagen door de datalogger; de communicatie tussen de geluidsmeter en de datalogger gaat via een twee aderige afgeschermd kabel. De geluidsmeter stuurt een DC voltsignaal van 50 mV/dB naar de datalogger die dit signaal opslaat met een interval van 2s.

De microfoon is van het type 4155 van Brüel & Kjær en is uitgevoerd met een regenkapje. De microfoon is op een hoogte van 5 meter geplaatst (in laatste deel meetperiode: 2 m) en is met een tweaderige afgeschermd kabel met de geluidsmeter verbonden.

De geluidsmeter wordt gevoed door twee parallel geschakelde 6V accu's, waarmee de geluidsmeter  $\pm 10$  dagen gevoed kan worden.

De geluidsmeter is als volgt ingesteld: detector RMS, time weighting Fast, sound incidence Random, frequency weighting A.

### Dataformat

De flashkaart met opgeslagen gegevens wordt wekelijks vervangen en uitgelezen. De data wordt opgeslagen met ASCII tekens die van elkaar gescheiden zijn met een ;, hieronder volgt een voorbeeld van de meetdata:

Data gemeten op 20-4-2006

```
"20-4-2006";"16:04:59";5,98;0,00;6,65;0,00;188,2;186,7;15,98;15,61;1,492;  
"20-4-2006";"16:05:01";5,98;0,00;6,46;0,00;187,0;187,5;15,98;15,61;1,744;  
"20-4-2006";"16:05:03";6,11;0,00;6,36;0,00;184,8;188,5;15,98;15,59;1,567;  
"20-4-2006";"16:05:05";5,88;0,00;6,51;0,00;183,0;192,8;15,98;15,59;1,542;  
"20-4-2006";"16:05:07";5,63;0,00;6,50;0,00;188,6;187,6;15,98;15,61;1,752;  
"20-4-2006";"16:05:09";5,61;0,00;6,51;0,00;189,6;188,6;16,01;15,59;1,400;  
"20-4-2006";"16:05:11";5,78;0,00;6,48;0,00;193,0;189,7;16,01;15,59;2,171;  
"20-4-2006";"16:05:13";5,59;0,00;6,36;0,00;188,6;190,8;16,01;15,59;1,547;  
"20-4-2006";"16:05:15";5,53;0,00;6,19;0,00;185,8;189,2;16,01;15,59;1,515;
```

De data bestaan uit:

- Datum.
- Tijd in uu:mm:ss.
- Windsnelheid V10- gemiddeld over twee seconden.
- Standaarddeviatie V10.
- Windsnelheid V27- gemiddeld over twee seconden.
- Standaarddeviatie V27.
- Windrichting D10- Polair gemiddeld over twee seconden.
- Windrichting D27- Polair gemiddeld over twee seconden.
- Temperatuur T2- Samplewaarde.
- Temperatuur T27- Samplewaarde.
- Voltsignaal dB meter U- Samplewaarde.



Voor het signaal van de geluidmeter is een omrekenfactor nodig van 20 dB/V. Omdat de geluidmeter is ingesteld op een minimaal bereik van 30 dB, moet er 30 dB bij het signaal worden opgeteld. De omrekenfactor van de meetspanning  $U$  naar het geluidsniveau in dB(A) is:

$$Lp(dB) = \frac{U}{0,05} + 30$$

De data kunnen na format-conversie worden bekeken en geanalyseerd met de door de Natuurkundewinkel ontwikkelde software-applicaties ANAWEG en DBWEG. Daarbij worden de meetgegevens in blokken van 5 minuten meettijd verzameld en wordt van elk meetblok een gewenste waarde bepaald en grafisch weergegeven: bij de windsnelheid en windrichting zijn dat meestal de mediane waarden, bij het geluidsniveau het equivalente geluidsniveau  $L_{eq}$  of het achtergrondgeluidsniveau  $L_{95}$ . Er kunnen desgewenst echter ook andere statistische waarden worden weergegeven, zoals de maximum of minimum waarde, of andere percentielwaarden.

## IJKING GELUIDMETER

De geluidsmeter, inclusief microfoon en datalogger, is in de loop van het project vier keer geijkt met een akoestische bron type 4231 van Brüel & Kjær. Dat was bij het plaatsen van de mast op 20 april 2006, bij twee bezoeken op 3 juni en 17 november 2006, en bij het stoppen van de metingen op 17 mei 2007. In alle gevallen was de afwijking nihil of 0,1 dB.

Postadres: Postbus 201, 3730 AE De Bilt  
Klimatologische Dienst  
Telefoon 030-220 68 50 (tussen 09.00 – 13.00 uur), telefax 030-220 46 14  
Internet: [www.knmi.nl/voorlfd](http://www.knmi.nl/voorlfd)



B5

## Geluid windpark Hoofdplaatpolder Bijlage 2

### TOELICHTING STABILITEIT VAN PASQUILL (uurgegevens)

Om te berekenen hoe een eventuele luchtverontreiniging zich zal verspreiden is kennis nodig van de stabiliteit van de atmosfeer. Bij het aangeven van de stabiliteit in de buurt van het aardoppervlak wordt uitgegaan van een zestal door Pasquill voorgestelde klassen A, B, C, D, E en F welke zijn gebaseerd op de gegevens van de windsnelheid op 10 m hoogte, de straling en de bewolgingsgraad.

Wegens gebrek aan gegevens met betrekking tot de straling zijn zowel overdag als 's nachts de gegevens van de bewolgingsgraad gebruikt teneinde de netto-straling althans kwalitatief te schatten. De gegevens van de totale bedekkingsgraad zijn ontleend aan metingen op synoptische stations. De betekenis van A, B, C, D, E en F is de volgende:

- A zeer onstabiel
- B matig onstabiel
- C licht onstabiel
- D neutraal
- E licht stabiel
- F matig tot zeer stabiel

In fig. 1 worden de stabiliteitsklassen als functie van de bedekkingsgraad N van de hemel (in achtsten) en van de windsnelheid v (in knopen) zowel overdag in elk van de vier seizoenen als 's nachts in het gehele jaar gegeven.

In een aantal gevallen is de bedekkingsgraad van de hemel onbekend; meestal is de bovenlucht dan onzichtbaar ten gevolge van mist en kan dus de Pasquill-klasse niet worden bepaald. Als vuistregel kan de stabiliteit in de mistlaag zelf het best gekarakteriseerd worden met neutraal, en daarboven met stabiel.

Deze gevallen zijn in de tabellen met een R aangegeven.

Men moet zich ervan bewust zijn dat met de bovengenoemde klassifikatie de stabiliteit nabij het aardoppervlak slechts zeer grof kan worden bepaald.

Meer informatie over dit onderwerp wordt verwezen naar de volgende publicaties:

**KNMI, Luchtverontreiniging en Weer, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage (1974)** en meer specialistisch in:

**F.T.M. Nieuwstadt, Stabiliteitsklassen en dispersiecoëfficiënten, KNMI Wetenschappelijk Rapport WR 75-3 (1975).**

Voor klimatologische verdelingen wordt verwezen naar:

**Klimatologische gegevens van Nederlandse stations, Frequentietabellen van de stabiliteit van de atmosfeer, KNMI publicatie no. 150 - 8, De Bilt (1972).**

De hier bovengenoemde publicaties zijn aanwezig in de KNMI-Bibliotheek (030-220 68 55).

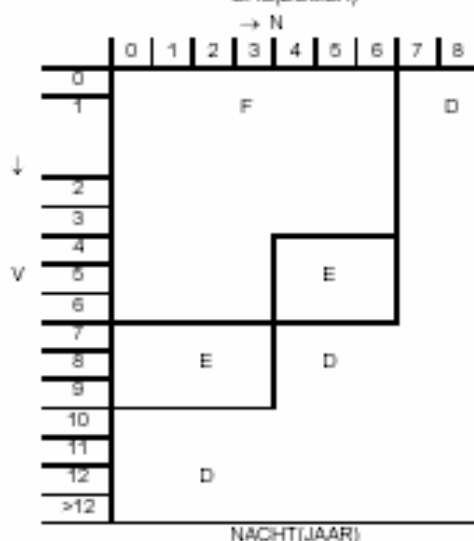
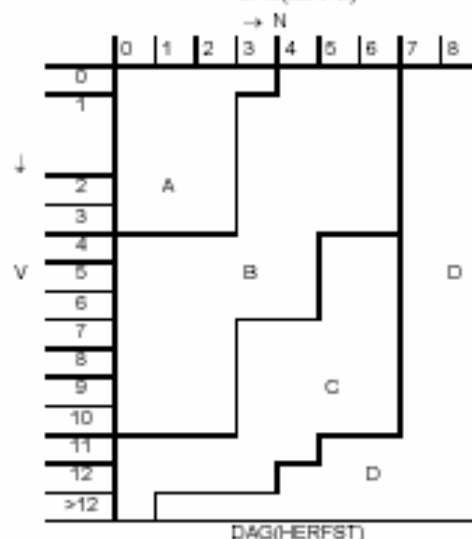
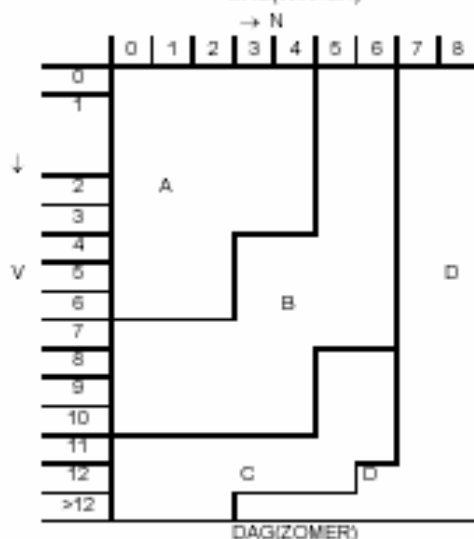
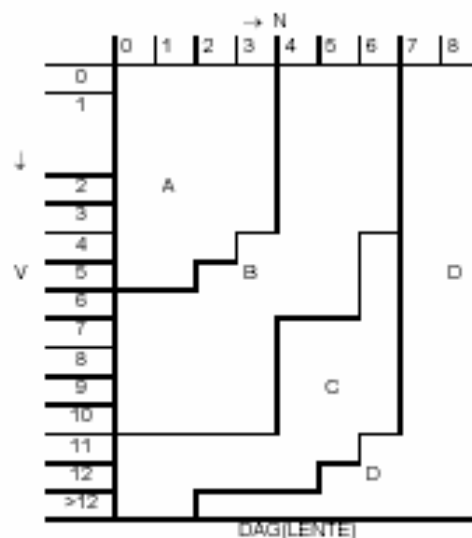
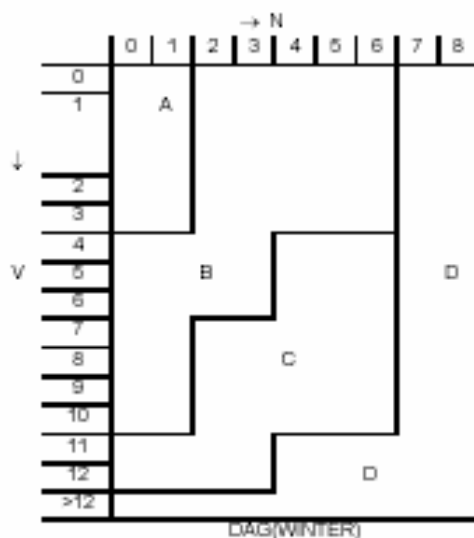
Postadres: Postbus 201, 3730 AE De Bilt



Klimatologische Dienst

Telefoon 030-220 68 50 (tussen 09.00 – 13.00 uur), telefax 030-220 46 14

Internet: www.knmi.nl/voorWld



		DAG	NACHT
winter	december	3 - 15	16 - 8
	januari	3 - 16	17 - 8
	februari	3 - 16	17 - 8
	maart	8 - 17	18 - 7
lente	april	7 - 18	19 - 6
	mei	6 - 19	20 - 5
zomer	juni	5 - 20	21 - 4
	juli	5 - 18	19 - 5
	augustus	5 - 18	19 - 5
	september	7 - 17	18 - 6
herfst	oktober	8 - 16	17 - 7
	november	9 - 15	16 - 8

V = windsnelheid in knopen

N = bedekkingsgraad in achtsten

### Bijlage 3: Oorspronkelijk onderzoeksvoorstel

Dit voorstel is vóór het onderzoek opgesteld en naar belanghebbenden (exploitant WEOM, Gemeente Sluis, Stichting Actiegroep Windturbines Hoofdplaatpolder) toegestuurd met het verzoek om eventueel commentaar en medewerking. Alleen WEOM heeft commentaar geleverd (hieronder *cursief weergegeven*) en wees medewerking af. De gemeente meldde overleg wenselijk te vinden, maar gaf zonder overleg aan SPA een eigen opdracht voor onderzoek. Het onderzoek is daarop met medewerking van de Stichting uitgevoerd.

### Voorstel onderzoek geluidsbelasting windpark Hoofdplaatpolder (concept)

Dit is een concept voorstel voor een onderzoek naar de hoogte van het geluidsniveau tengevolge van het windpark ter plaatse van woningen. Dit voorstel is bedoeld als aanzet voor een definitief voorstel waarin partijen (gemeente, exploitanten en omwonenden) zich kunnen vinden.

Doel van het onderzoek is het vaststellen van de geluidsbelasting op immissiepunten in de omgeving van het windpark Hoofdplaatpolder. Deze kan vervolgens getoetst worden aan de geldende voorschriften.

*WEOM: Aangezien het windpark een AMvB inrichting betreft, zal getoetst dienen te worden aan de WNC40 uit het besluit*

### Voorstel voor een onderzoek, in acht stappen

#### 1. Historische windgegevens

Op basis van meetgegevens over langere tijd van (lieft meerdere) windturbines waaruit de windsnelheid en windrichting zijn af te leiden en van gegevens van KNMI-station Hoofdplaat (een buitendijkse meetpaal op 3 km ten oosten van het windpark) kan bepaald worden welke windsnelheden  $V_{as}$  op ashoogte optreden in elke klasse (0-1, 1-2, 2-3 m/s, enz.) van wind-snelheden  $V_{10}$  op 10 m hoogte. Dit liefst over een periode van een jaar. Daarbij wordt bepaald wat de verhouding is van windsnelheid op ashoogte en die op 10 m hoogte gedurende de verschillende etmaalperioden (dag, avond, nacht) en bij verschillende windrichtingen (in elk geval aanlandig en aflandig 's nachts). Deze analyse levert statistische verdelingen van  $V_{as}$  per  $V_{10}$ -klasse per etmaalperiode bij verschillende omstandigheden.

Toelichting: het is noodzakelijk over een langere periode (tenminste half jaar) gegevens te hebben omdat het noodzakelijk is een statistisch betrouwbare indruk te krijgen van de intrinsieke variabiliteit van het weer over tijdschalen van seconden tot seizoenen. Van de variabiliteit op 10 m hoogte is voldoende bekend, maar van die op grote hoogte (ashoogte) is dat minder zeker. Om onzekerheden te vermijden zijn gegevens over lange duur (tenminste twee seizoenen) gewenst.

*WEOM: Hier worden veel statische windsnelheid gegevens aan elkaar geknoopt en wordt achter het bureau een alternatieve bronsterkte van de windturbine bepaald. Wij houden ons liever aan de bepaalde bronsterkte conform de Europese IEC-norm.*

## 2. Windmetingen

Aanvullend wordt een eigen mast van 10 m hoogte in het gebied geplaatst waarmee een voor het gebied representatieve windsnelheid  $V_{10}$  en windrichting ( $D_{10}$ ) kan worden gemeten. Dit kan gedurende een beperktere periode en heeft tot doel eventuele verschillen te bepalen tussen de omstandigheden in het gebied en bij KNMI-station Hoofdplaat.

Zijn er geen historische gegevens van het windpark, dan moeten alsnog gegevens op ashoogte verzameld worden en kan de 10-m mast blijven staan over de gehele periode van dataverzameling.

Toelichting: 1) Het is te verwachten dat de uurgemiddelden van KNMI-station Hoofdplaat representatief zijn voor het windpark, en dat het vóórkomen van stabiliteit daarmee ook bepaald kan worden; de mate van stabiliteit zal waarschijnlijk licht onderschat worden. Alleen voor dat laatste is een vergelijking met een meting in het gebied wenselijk. Overigens heb ik over dit punt contact met de 'windgroep' van het KNMI (Job Verkaik).

2) Er zijn mogelijk geen historische gegevens beschikbaar van het windpark. Gegevens blijken niet te zijn bewaard, maar onduidelijk is of dit alle of enkele gegevens geldt.

Hier worden veel statische windsnelheid gegevens aan elkaar geknoopt en wordt achter het bureau een alternatieve bronsterkte van de windturbine bepaald. Wij houden ons liever aan de bepaalde bronsterkte conform de Europese IEC-norm.

## 3. Bronsterkte

Uit de windsnelheid op ashoogte en bronsterkte-gegevens van de leverancier of WEOM kan de (geluids-) bronsterkte van elke turbine worden bepaald bij elke waarde van  $V_{as}$ .

## 4. Immissieniveau

Uit de bronsterkte kan de immissie op meerdere punten in het gebied worden bepaald m.b.v. het rekenmodel van de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai 1999. De berekening op zichzelf geeft geen aanleiding tot grote afwijkingen.

Als we ervan uitgaan dat: 1) de bronsterkte van de windsnelheid  $V_{as}$  afhankelijk is, 2) de spectrale verdeling ervan niet verandert, 3) de turbines onderling zo weinig verschillen dat ze qua bronsterkte op elk moment gelijk kunnen worden gesteld, en 4) de geluidsafstraling in alle richtingen gelijk is; dan is er voor elk immissiepunt een constant verschil tussen de bronsterkte en de immissie en is de immissie direct uit de door  $V_{as}$  bepaalde bronsterkte te berekenen.

M.b.v. 1, 3 en 4 kunnen per immissiepunt statistische verdelingen worden opgesteld van het immissieniveau  $L_{imm}$  per  $V_{10}$ -klasse. Daarbij kan het nuttig zijn de resultaten uit 1 bij verschillende omstandigheden te betrekken.

Toelichting: 1) nauwkeurigheid rekenmodel: bij windpark Rhede bleek dat op 6 meetpunten op afstanden tussen 600 en 2000 m de gemiddelde afwijking tussen meet- en rekenresultaat slechts +0,8 dB bedroeg, met een maximale afwijking van +1,6 dB.

## Bijlagen B10

2) De genoemde veronderstellingen worden in akoestische rapporten over geluidsbelasting tengevolge van windparken altijd gemaakt, zij het dat dat meestal niet expliciet vermeld wordt. De 1<sup>ste</sup> veronderstelling is correct, de 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> zijn bij benadering correct, de 4<sup>e</sup> is mogelijk minder correct maar er zijn vermoedelijk te weinig gegevens om dit beter te kunnen bepalen.

*WEOM: Indruk bestaat dat hier eigen meet- en rekenmethodes gewerkt gaat worden en niet met de inde Handleiding meten en rekenen industrielawaai voorgeschreven methodes. Aangezien het hier om een handhavingzaak gaat is het essentieel dat bovengenoemde Handleiding exact gevold wordt bij alle meet- en rekenexercities.*

### 5. Representatieve bedrijfssituatie

- a. Volgens het Besluit Voorzieningen & Installaties milieubeheer (Besluit V&Im) ‘kan elke windsnelheid aangemerkt worden als zijnde een afzonderlijk te beoordelen bedrijfssituatie met een aparte normwaarde en een apart te beoordelen geluidniveau’ (toelichting Besluit, par. 5.1.3; het betreft hier de 10-m windsnelheid, de normwaarden vormen samen de WindNormCurve). Vervolgens kunnen we vaststellen dat in de nachtperiode de normen het laagst zijn, zodat het voldoen aan normen in de nachtperiode de strengste eisen oplegt.

Het Besluit V&Im veronderstelt impliciet dat een bepaalde 10-m windsnelheid eenduidig samenhangt met een immissieniveau bij die windsnelheid en dat daarbinnen dus geen (belangrijke) variatie is in de bedrijfssituatie: deze enige bedrijfssituatie is daarom ook de representatieve situatie. In werkelijkheid is er bij één waarde van  $V_{10}$  een variatie aanwezig in immissieniveaus, die zeer groot kan zijn bij relatief lage windsnelheden  $V_{10}$  ( $< 6$  m/s), en verwaarloosbaar bij hoge windsnelheden. Er is geen voorschrift hoe uit deze verschillende niveaus een beoordelingsniveau te bepalen.

*WEOM: De AMvB waaronder dit windpark valt onder het besluit voorzieningen en installaties milieubeheer. Dit besluit schrijft voor dat de handleiding meten en rekenen industrielawaai gebruikt moet worden. Daarin is uitgebreid beschreven hoe men uit meerdere bedrijfssituaties met diverse geluidsniveaus kan komen tot de maatgevende beoordelingswaarde. Verder dient de toetsing aan de grenswaarde plaats te vinden door voor de gehele nachtperiode van 23:00 tot 07:00 uur een gemiddelde, equivalente beoordelingswaarde te bepalen, en dus niet alleen de meest ongunstige periode “tussen 2 en 4 uur” of een een ander willekeurig deel van de nacht.*

- b. Volgens par. 5.3 van de Handreiking Industrielawaai en Vergunningverlening (HI&V) dienen de geluidsvoorschriften “(mede) te zijn afgestemd op de geluidsemissie die de inrichting onder normale omstandigheden veroorzaakt, veelal aangeduid als de ‘representatieve bedrijfssituatie (RBS)’”. Bij een veranderlijke geluidsuitstraling zal de RBS “betrekking hebben op een voor de geluidsuitstralende kenmerkende bedrijfsvoering bij volledige capaciteit van de inrichting” (par. 5.3; mijn cursivering). Bij hogere emissies dan die in de RBS, maar met een beperkte frequentie (maximaal één dag-, avond- of nacht-periode per week) kan, na bestuurlijke afweging, een hogere grenswaarde worden vastgelegd. “Daarbij zal het feit of er in die situaties sprake is van hinder en zo ja, in welke mate en frequentie, een belangrijke rol spelen”. Tenslotte kan

volgens de HI&V ontheffing worden verleend als zich maximaal 12 maal per jaar binnen steeds een etmaal bijzondere activiteiten (incidentele bedrijfssituaties) voordoen die niet tot de RBS worden gerekend (par. 5.3).

*c. WEOM: De inrichting valt onder het besluit en is dus niet vergunningsplichtig. Genoemde Handreiking is dan ook niet van toepassing.*

- d. De Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai van 1999 (HMRI) stelt dat bij de RBS “de resultaten kenmerkend moeten zijn voor de geluidssituatie over een beoordelings-periode” (par. 5.2). De beoordelingsperiode “betreft in het algemeen de dag-, avond- en/of nachtperiode” (par. A-7.2.1).

*e. WEOM: Waarbij in het besluit vervolgens onomstotelijk aangegeven is dat “in het algemeen” in deze zin dient te vervallen. De beoordelingsperiode zijn exact de dag- (van 07 tot 19 uur), de avond- (van 19 tot 23 uur) en de nachtperiode (van 23 tot 07 uur)*

Uit het voorgaande blijkt dat bij bedrijfslawaai de representatieve bedrijfssituatie, per etmaalperiode, door de de hoogst optredende geluidsproductie wordt bepaald, waarbij verhogingen daarop door incidenten maximaal 12 dagen per jaar zijn toegestaan. Na bestuurlijke afweging kan ontheffing worden verleend voor een hogere emissie mits die hooguit éénmaal per week voorkomt.

**Toegepast op een windpark betekent dit dat het maximale niveau (per  $V_{10}$ -klasse) maatgevend is, tenzij kan worden aangetoond dat de verhogingen incidenten zijn, bijvoorbeeld door weersomstandigheden die buiten het gebruikelijke patroon vallen.**

Uit de (op de hierboven genoemde wijze) vastgestelde gegevens kan bepaald worden wat per  $V_{10}$ -klasse de maximaal optredende immissieniveaus zijn en of zij eventueel als incidenteel kunnen worden aangemerkt (zo ja, dan wordt een maximum bepaald na verwijdering van de incidenten).

Men kan hier verlangen dat er over kortstondige variaties moet worden gemiddeld. Wind varieert door turbulentie relatief sterk binnen een tijdsspanne van ca. 10 minuten, dus een middelingsperiode van minstens 10 minuten ligt voor de hand. Het lijkt mij redelijk een nog wat langere periode van 1 uur te nemen omdat verwacht mag worden dat er ook binnen een uur geen grote veranderingen zijn en bovendien weerstatistieken per uur het meest algemeen zijn. Een periode langer dan 1 uur is niet aan te bevelen omdat dan de kans op grotere variaties in windsnelheid weer begint toe te nemen en de gegevens dan niet meer in windsnelheidsklassen van 1 m/s zijn te groeperen.

Toelichting: Als een verhoging niet meer dan één keer per week voorkomt, dan kan het bevoegd gezag een hogere grenswaarde voorstellen dan de algemeen geldende geluidvoorschriften. Het is echter onwaarschijnlijk dat dit het geval is: door de afwisseling van hoge en lagedruk-gebieden met een typische opvolgingstijd van enkele dagen tot een week zullen omstandigheden met een bepaalde geluidsbelasting zich vaak gedurende een aantal nachten voordoen, waarna dan weer verandering optreedt. Hoge geluidsniveaus zullen zich dus meestal niet beperken tot hooguit één nacht per week. Dit aspect zal echter onderzocht worden om onzekerheid hierover weg te nemen.

*WEOM: Bovenstaande is wederom afkomstig uit de “Handreiking Industrielawaai en vergunningverlening”, die hier niet van toepassing is.*



## 6. Karakter geluid

Windturbinegeluid kan met, name 's nachts, opvallen door een niveauvariatie in het tempo waarmee bladen de mast passeren. Deze niveauvariatie is dan groter dan overdag en kan tot extra hinder leiden. Bij metingen kan worden vastgesteld of deze variatie voldoet aan de (beperkte) objectieve voorwaarden om geluid als impulsachtig te bestempelen, en aan de voorwaarde dat het karakter “duidelijk hoorbaar is op het beoordelingspunt” (HMRI par. A-2.3).

*WEOM: Dit punt is reeds beoordeeld door de bestuursrechter, StAB Vrom en andere relevante partijen. Deze partijen hebben geconstateerd dat er geen sparke is van impulsachtig geluid. Dit is voorbehouden aan inrichtingen die echt piekgeluiden veroorzaken (ponsmachines, hamerslagen, het richten van schepen met zware hamers enz. De in geringe mate fluctuatie (alleen onder bepaalde zichthoeken) van het geluid wordt zeker niet aangemerkt als impulsachtig. De fluctuatie wordt overigens met name veroorzaakt door het “dopplereffect”. Verkeerslawaai wordt ook niet aangemerkt als zijnde impulsachtig.*

## 7. Beoordeling

De uiteindelijke beoordelingsniveaus in de nachtperiode, bepaald conform 5 en 6, worden getoetst aan de hand van de WindNormCurve uit het Besluit Voorzieningen en Installaties Milieubeheer. Daarbij zal worden voldaan aan de algemene voorschriften die het HMRI stelt ter bepaling van het langtijdig beoordelingsniveau, wordt het overdrachtsmodel ‘methode II.8’ (HMRI hfdst. C-5) toegepast en zoveel mogelijk de voorschriften voor immissiemetingen (methode II.1, HMRI hfdst. C-3). HMRI zal niet helemaal worden gevolgd: het voorschrift alleen te meten bij  $V_{10} = 7 \pm 2$  m/s (par. C-7.2) is niet correct en wordt genegeerd, en bij het meten kan niet altijd aan het vereiste meteoraam worden voldaan gezien de grote afstand tussen de turbines. Overigens zal de beoordeling vooral berusten op berekeningen volgens 5, en zijn de metingen bedoeld om de juistheid daarvan te ondersteunen.

De wijze van beoordeling wordt uiteindelijk bepaald door het bevoegd gezag, en in uiterste instantie door de rechter.

*WEOM: In bovenstaande tekst staan een aantal passages die veronderstellen dat er “bovenwettelijk” onderzoek wordt gedaan. Dergelijk onderzoek is in het kader van een handhaving heeft voor ons geen waarde*

*Toelichting: de WindNormCurve is weliswaar gebaseerd op verkeerde ideeën, maar in de regelgeving is bepaald dat daaraan getoetst moet worden. Doel van dit project is niet om de regelgeving te wijzigen, maar het windpark te toetsen aan geldende geluidsvoorschriften.*

*Kritiek op de regelgeving valt buiten het kader van dit onderzoek.*

## 8. Geluidsmetingen

Er worden aanvullende geluidsmetingen gedaan om te demonstreren dat de voorspelde geluidsniveaus overeenkomen met gemeten niveaus. Daartoe zullen in één of enkele nachten tegelijkertijd op verschillende plaatsen in de omgeving immissiemetingen worden uitgevoerd. Daarbij zullen ook geluidsoptnamen worden gemaakt teneinde het karakter van



het geluid vast te leggen; deze kunnen het bevoegd gezag behulpzaam zijn bij het beoordelen van het geluidskarakter.

*WEOM: Dergelijke metingen zullen tot onvoldoende signaal-ruisverhouding leiden en zijn daarmee niet geschikt voor een beoordeling.*

### **Planning en verdere aanpak**

Eerst moet duidelijkheid worden verkregen over een aantal zaken:

- kunnen partijen zich vinden in de hierboven gegeven onderzoeksopzet?
- welke historische data zijn beschikbaar, en zijn exploitanten bereid deze data beschikbaar te stellen?

Het onderzoek kan in januari 2006 beginnen. Als er geen historische gegevens beschikbaar zijn, zullen tot in de zomer metingen plaatsvinden van het windklimaat. Als deze er wel zijn kan het onderzoek in de lente worden afgerond (de aanvullende wind- en geluidsmetingen moeten niet alleen 's winters gebeuren).

Een begroting van kosten en betere planning kan pas worden gegeven na overeenstemming over de onderzoeksopdracht. In de geschetste opzet gaat het vermoedelijk om drie tot vijf duizend euro.

Groningen, 8 november 2005,

Frits (ir G.P.) van den Berg

## Bijlage 4: Berekening windprofiel

De berekening volgt het model dat Holtslag gaf in zijn artikel “Estimates of diabatic wind speed profiles from near-surface weather observations” [Holtslag 1984].

Uit windsnelheden op twee verschillende hoogtes  $z$  (hier 28 en 10 m) en een bekende ruwheidshoogte  $z_0$  (hier 0,1 m) kan voor een stabiele atmosfeer de stabiliteitsfunctie  $\Psi(z)$  worden bepaald m.b.v. formule (7) in het artikel van Holtslag:

$$V_{28} = V_{10} * [\ln(28/z_0) - \Psi(28)] / [\ln(10/z_0) - \Psi(10)] \quad (a)$$

Voor een stabiele atmosfeer is namelijk  $\Psi(z)$  evenredig met de hoogte  $z$ :

$$\Psi(z) = -5z/L \quad (b)$$

(formule (8c) in het artikel van Holtslag), waarin de Monin-Obukhov lengte nog onbekend is. Schrijven we  $r = V_{28}/V_{10}$ , dan kan  $L$  worden opgelost:

$$L = 5 * (280 - 10 * r) / [r * \ln(10/z_0) - \ln(28/z_0)] \quad (c)$$

Vervolgens kan  $V$  worden bepaald analoog aan formule (a):

$$V_{80} = V_{28} * [\ln(80/z_0) - \Psi(80)] / [\ln(28/z_0) - \Psi(28)] \quad (d)$$

Omdat bij een min of meer neutrale atmosfeer ( $|L| \gg 0$ )  $\Psi(z)$  naar nul gaat, levert de berekening dan ook nog goede resultaten. Voor een instabiele atmosfeer echter geldt een geheel andere expressie voor  $\Psi(z)$  en levert het bovenstaand geen geldige resultaten.

In een zeer stabiele atmosfeer lijkt uitdrukking (b) minder goed op te gaan en onderschat het gegeven model de windsnelheid op grotere hoogten ( $z/L > 0,5$ ). Dit is in de berekeningen in H. 4 enigszins ondervangen door zeer lage windsnelheden (dan treden situaties met hoge stabiliteit meest op) uit te sluiten.